

1984年7月熊野灘南部域に出現した *Gymnodinium nagasakiense*

赤潮について (調査報告)*

竹内 照文・金盛 浩吉・渡辺勇二郎
芳養 晴雄・金丸 誠司・中西 一
小川 満也・竹内 淳一・南 忠七

目 次

はじめに	
1. 赤潮の発生経過	55
(1) 赤潮の全体像	57
(2) 熊野灘南部沿岸域での出現状況	58
(3) 熊野灘南部内湾域での出現状況	62
1) 佐野湾	62
2) 勝浦周辺水域	63
3) 太地周辺水域	63
4) 浦神湾	65
5) 串本～大島周辺水域	70
6) 裏海水域	78
7) 袋水域	78
2. 赤潮発生時の環境	80
(1) 気象	80
(2) 海象	82
3. 赤潮末期における各種プランクトンの消長	85
4. 赤潮末期における内湾域での貧酸素化現象	87
5. <i>Gymnodinium nagasakiense</i> 赤潮と漁業被害	90
(1) 魚貝類の被害状況	92
(2) ブリ稚魚(モジャコ)及びマダイ稚魚の飼育試験	100
(3) 貝類の飼育試験	103
6. 赤潮時の対応策	104

* 赤潮予察調査事業費による。

(1) 串本浅海漁場	105
(2) 浦神湾	107
要 約	107
文 献	109

はじめに

1984年6月上旬から8月上旬にかけて熊野灘全域で、*Gymnodinium nagasakiense* の赤潮が発生した。熊野灘の南部域[※]でも7月中～下旬をピークに、約1ヶ月強に及ぶ期間、非常に濃密になり、大規模な赤潮になった。そのため、養殖魚貝類を中心に約28億円もの漁業被害を出した。今回の赤潮は、漁業被害の大きさとともに外海域での大規模な赤潮発生例として非常に注目されるものである。

*G. nagasakiense*¹⁾による赤潮は、1965年、長崎県大村湾で発生して以来、毎年のように西日本の内湾域に発生している。そして多くの魚貝類に被害を及ぼすということで、*Chattonella* 赤潮とともに非常に恐れられている。

和歌山県の沿岸域では田辺湾でほぼ毎年のように発生している。このうち1977年には非常に大規模になり、養殖ハマチとアコヤガイを中心に約1.6億円程の被害を出している。また、1980年には今回の赤潮発生域である熊野灘の南部域にも *G. nagasakiense* 赤潮が出現した。この赤潮の発生経過としては熊野灘の北部域で高密度になったものが、沿岸水(南下流)にのり、南部域に移送され、短期間のうちにこの水域を通過したような状況が窺えた。²⁾ 魚貝類の被害は赤潮の通過点で起っているが、赤潮としての着色水は2～4日程の短期間で南部域を通過して行ったため漁業被害は約4,000万円程であった。しかし、1980年熊野灘で発生した *G. nagasakiense* 赤潮の特色として、非常に低密度でも魚貝類を斃死させることがわかっている²⁾。そこで赤潮防除に対して有効な対策のみられない現在、漁業被害を最小限に抑えるための指導をするため、今回の赤潮発生時に *G. nagasakiense* の分布等、現場の状況を適確に把握するための調査を数多く行ってきた。

ここではこれらの調査結果や被害状況を整理することにより、今回の *G. nagasakiense* 赤潮の特徴を知り、更に、今後も発生が予想されるであろうこの水域での *G. nagasakiense* 赤潮の被害防止対策の一つにするものである。

なお、とりまとめるにあたり、現場調査等に多大の協力をいただいた漁業協同組合や民間団体の方々に深く御礼を申し上げます。また、赤潮発生期間中は当該職員は勿論のこと、水産関係職員も一丸となって漁場調査や被害対策に取組み、また、応援して頂いたことを付記させていただきます。

1. 赤潮の発生経過

1984年6月29日に串本町大島の養殖業者から、「三重県の尾鷲(二木島)で赤潮が発生し

※ ここでは、熊野灘を三重県側が北部域、和歌山県側が南部域として区分している。

ている」という通報があり、翌6月30日、熊野灘南部域のプランクトン調査を実施した。その結果 *G. nagasakiense* は、佐野湾口5m層の 1,420 cells/ml を最高に全定点で出現が確認された(図1)。そこで、7月1日から図2に示す水域で、表1の分担により観測体制に入った。ま

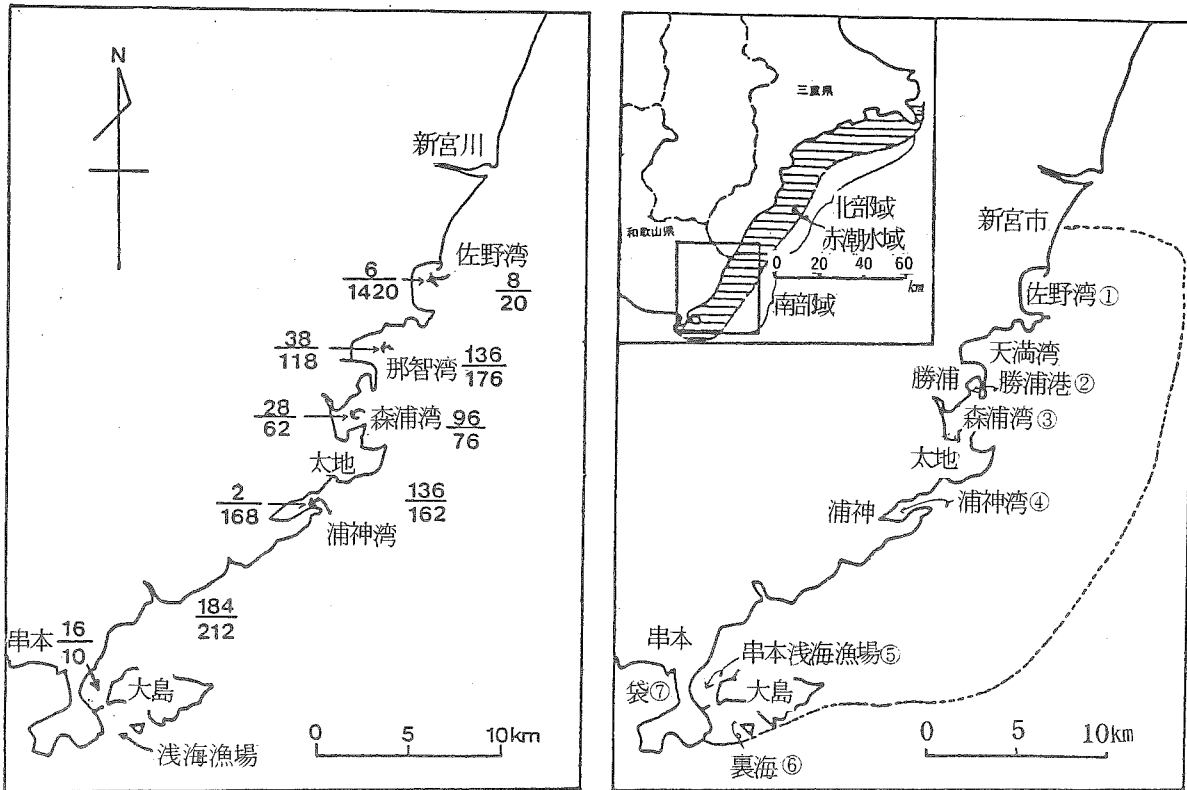


図1 6月30日の *G. nagasakiense* の出現状況

※単位: cells/ml $\frac{0\text{ mの値}}{5\text{ mの値}}$

図2 赤潮の発生域と調査水域

※円内の数字は内湾域の調査水域である。
※点線内は沿岸域の調査水域である。

表1 調査水域と調査担当機関

No.	調査水域	担当機関
1	佐野湾	三輪崎漁協
2	勝浦港周辺水域	勝浦漁協
3	太地周辺水域	太地漁協
4	浦神湾	浦神漁協
5	串本~大島周辺水域	水試、串本漁協、大島漁協、近畿大学大島実験所
6	裏海水域	大島漁協
7	袋水域	橋本水産
8	熊野灘南部沿岸域	水試

ず、熊野灘全域での赤潮の動向を把握するため航空機観測とともに水試公害調査船「しお風」による調査が1週間に1～2回の割合で行われた。一方、内湾域については、養殖の行われている所を中心にNo.1～7(図2)の水域を選定し、地元漁協等(表1)に採水を依頼し、連続調査を実施した。検鏡は、サンプルを水産試験場に搬入後に行った。

(1) 赤潮の全体像

図3は今回の *G. nagasakiense* 赤潮の全体像を示したものである。ここで、熊野灘北部域については三重県水産技術センター³⁾、また、三河湾については愛知県水産試験場⁴⁾の資料を参考にしとりまとめた。

6月1～15日頃の赤潮発生域は三重県の五ヶ所湾に限られていた。なお、五ヶ所湾では、5

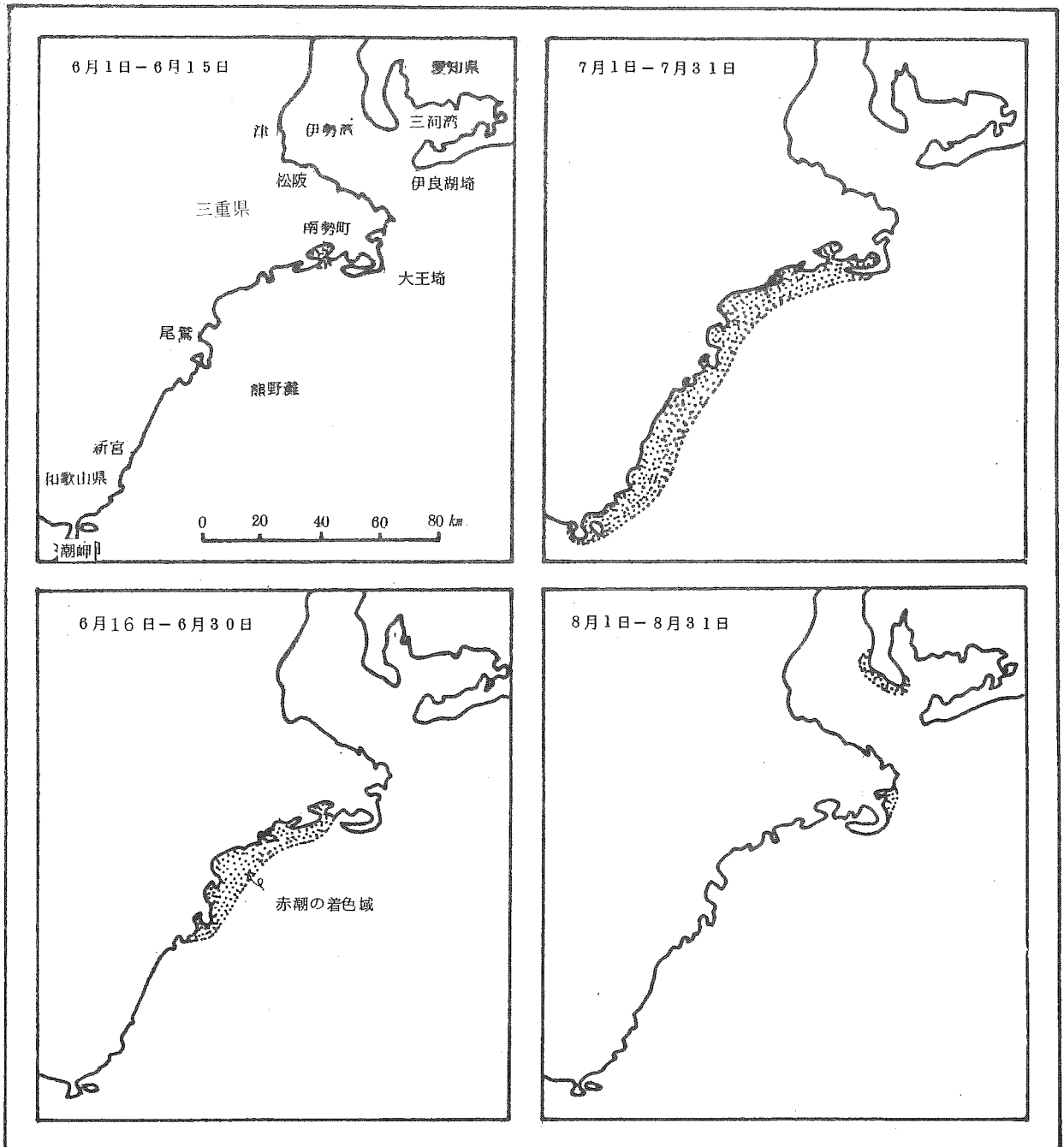


図3 1984年熊野灘で発生した *G. nagasakiense* 赤潮の発生経過

月20日頃から西部に位置する迫間浦で小規模ながら *G. nagasakiense* 赤潮の出現を確認しえたということである³⁾。

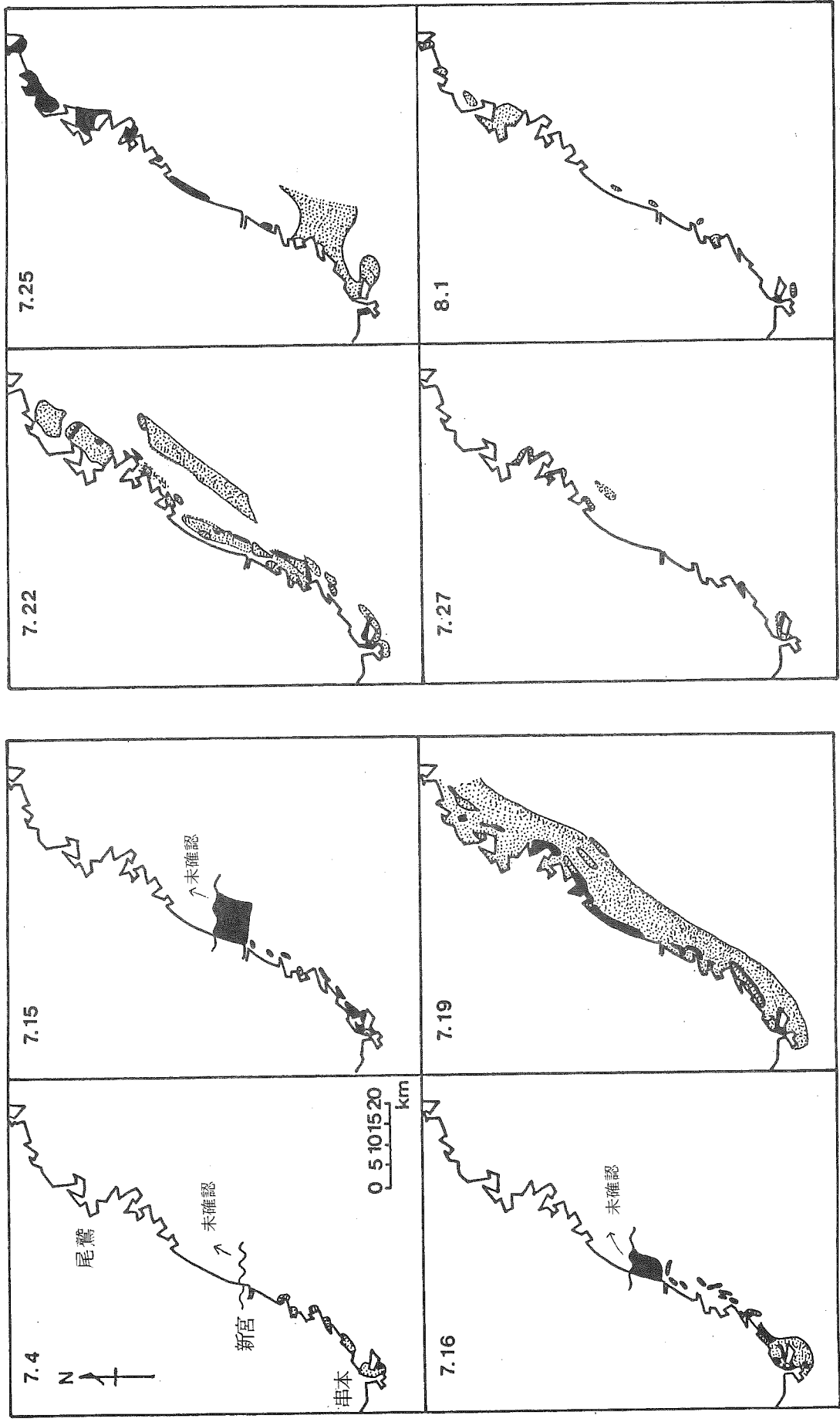
6月後半になると、赤潮は熊野灘北部一帯に拡大してきた。この時点の南部域での *G. nagasakiense* の出現状況についてはよくわからない。しかし、熊野灘南部域の内湾域で断片的に行われた各種の調査結果から *G. nagasakiense* に関する情報を集めると次のようなものがある。①6月19日に行われた浦神湾の赤潮予察調査では採水プランクトン中に *G. nagasakiense* が確認されなかった。②6月中～下旬にかけて串本港内で *Heterosigma* sp. の赤潮が発生していたが、6月末の調査ではこの赤潮サンプル中に数 cells/ml の割合で *G. nagasakiense* が混在していた。③この時点では熊野灘南部域で赤潮の発生しているという情報が入っていない。④6月30日には熊野灘南部全域に *G. nagasakiense* が出現していたが、赤潮としての着色域は見られなかった(図1)。以上の4点から、6月中～下旬には、熊野灘の南部域でも *G. nagasakiense* が低密度(赤潮として着色を確認できない密度)ながら出現していたことが推察されよう。

更に、7月になると赤潮が大王埼から潮岬までの熊野灘全域に拡大し、非常に大規模なものになった。特に上旬から中旬にかけてその傾向が著しい。下旬には、赤潮が峠を越し、*G. nagasakiense* は徐々に減少しはじめた。そして、8月に入ると赤潮としての着色が熊野灘全域から消滅していたが、なお、*G. nagasakiense* が低密度ながら各地で出現し続けていた。

一方、今まで赤潮のみられなかった矢湾では7月31日頃から発生しはじめ8月6日頃まで続いていたということである³⁾。更に、8月上～中旬にかけて知多半島周辺水域にも *G. nagasakiense* の赤潮が発生し、大量のアワビが斃死したということである⁴⁾。ただ、ここでの赤潮と熊野灘で発生したものとの関連性については不明である。

(2) 熊野灘南部沿岸域での出現状況

航空機観測の結果を図4に示した。この航空機観測は、国、県と漁連が行ったものである。そこで、毎回同一人が乗りこみ、観測するということができなかった。観測は各自が主観的に行ったもので、同一レベルで相互の比較をすることが困難であった。そこで、ここでは赤潮予察調査事業の水色カードを使用し、No.6、15を濃い着色、No.24をやや濃い着色、No.33を淡い着色ということで各々の統一をとり、3段階にとりまとめて図示した。7月4日は南部の内湾域にやや濃い着色域がパッチ状に認められたが、沿岸域では着色域がみられなかった。7月15、16日には、三重県御浜海岸から新宮川までの間に沿岸域を含めて濃い着色域が広範囲に広がっていた。しかし、濃い着色域は新宮川で分断されるような様相を呈し、新宮川以南の水域ではパッチ状に認められる程度であった。しかし、この時点ではパッチ状の着色域が沿岸域一帯に拡大していた。7月19日には淡い着色域が熊野灘沿岸一帯に拡大し、距岸15～20kmの範囲がすべて赤潮状になっていた。この中に、濃い着色域や、やや濃い着色域がパッチ状に認められるようになり、この頃が今回の *G. nagasakiense* 赤潮のピークであったものと思われる。7月22日には各地で淡い着色が分断されるようになり、更に、7月25日には着色域と非着色域が鮮明に区分されるようになった。しかし、濃い着色域が内湾部の各地に残っており、また、一部は潮岬をこえて、串本の西側にも達していた。7月27日と8月1日には、淡い着色域が内湾部に小規



果 測 観 行 飛 図 4 ※ 濃い着色 (水色 No. 6、15) ※ 未確認 ※ 薄い着色 (水色 No. 33) ※

※ 赤潮予察調査事業の水色カードの No. による。

模な形で残っている程度であった。しかし、この時期では、後述するように、*Gyrodinium fissum* や *Skeletonema costatum*、*Chaetoceros* spp. といった珪藻が各地で増殖し、着色するまでの状態になっていた。そのため、ここで示した淡い着色は、*G. nagasakiense* とともに他のプランクトンの増殖をもとらえた結果であると考えられる。

熊野灘南部全域調査の定点と調査結果 (*G. nagasakiense* の分布) を図5、6に示した。6月30日の調査開始当初から、*G. nagasakiense* はほぼ全定点に出現していた。しかし、7月9日までは、0.5 m層の平均値で 10^2 cells/ml 以下の出現数が多く、 10^3 cells/ml 以上の定点はみられなかった。7月11日には 10^3 cells/ml 以上の定点が出現し、*G. nagasakiense* が徐々に増加しはじめてきた。7月24日は表面水で $10^3 \sim 10^4$ cells/ml の密度が7定点、また、 10^4 cells/ml 以上の密度が2定点でみられ、調査水域全体が非常に濃密な赤潮になっていた。7月中旬の分布をみると、陸よりと沖側の定点で *G. nagasakiense* の出現数に差がみられない。また5 m層は表面に比べると若干淡かったが、 10^3 cells/ml 以上の定点もあり、他の期間に比べると非常に濃密になっていたことが、航空機観測の結果と同様に窺える。7月16日や24日の塩分にみられるように0 mや5 m層では24.0~34.0‰の分布になっており、調査水域一帯は非常に低かん化していた。これは大雨に伴う陸水の影響によるものであろうが、陸水が沖側に拡散せず、沿岸域に封じこめられるような海洋構造の形成されていたことが予想される。更に、陸水に伴うN、Pの大量導入のあったことが想定される。そのため、低かん水の分布する調査水域一帯では陸水由来のN、Pにより *G. nagasakiense* が活発に増殖し、7月24日のような結果になったものと推察される。7月31日には全定点が 10^3 cells/ml 以下の密度にな

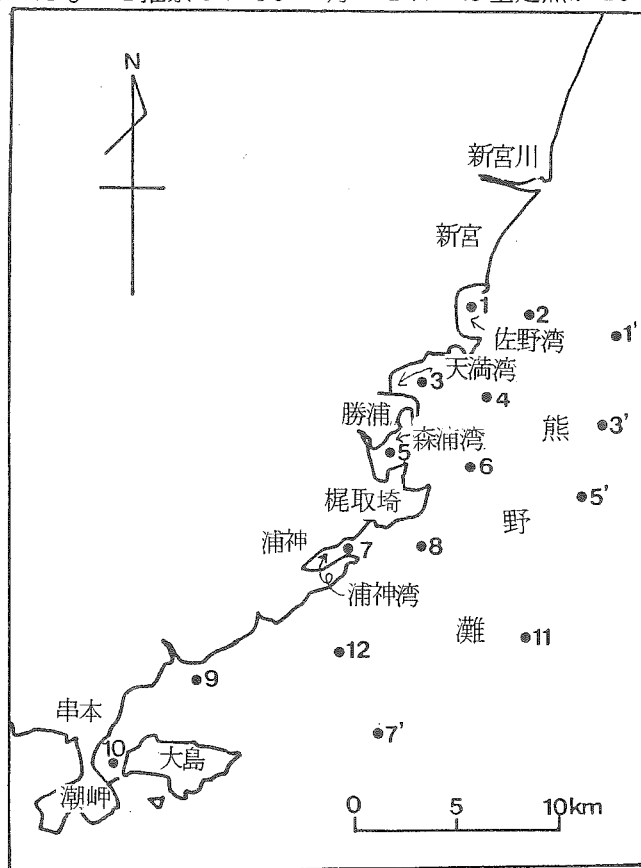


図5 熊野灘南部沿岸域の調査定点

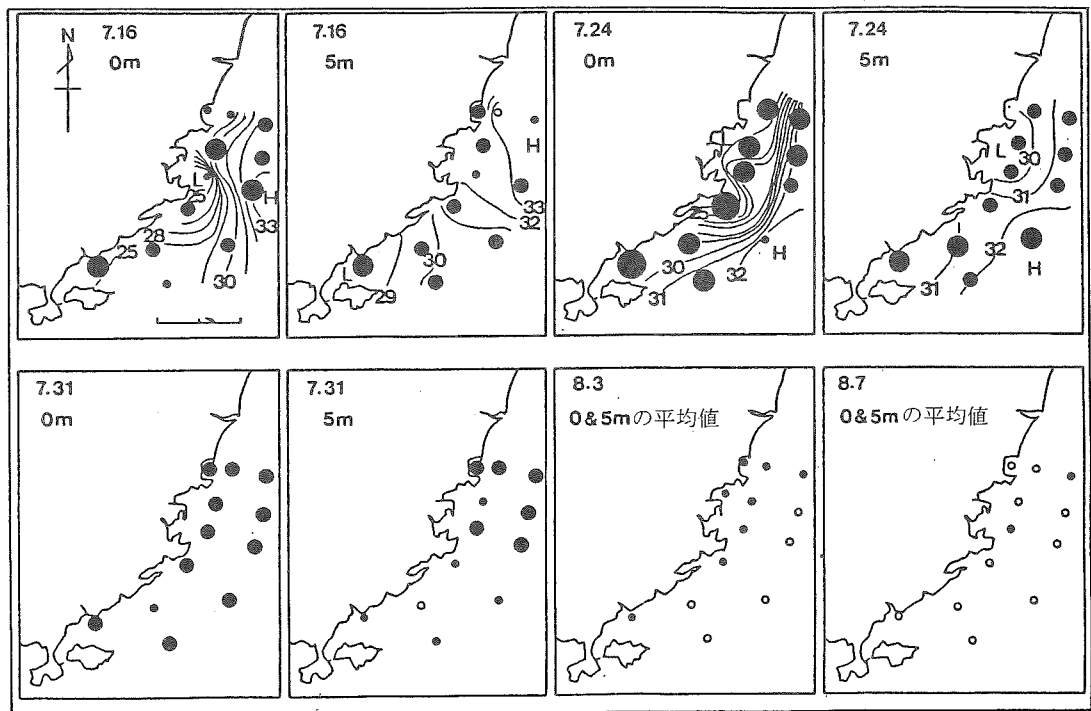
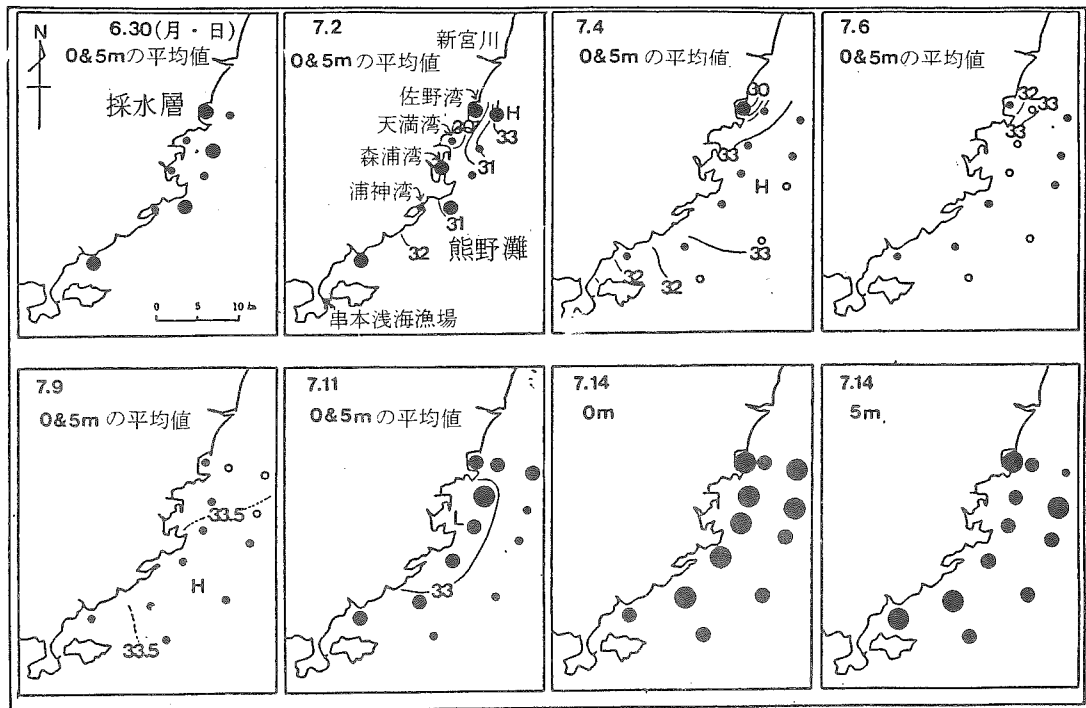


図6. 熊野灘南部沿岸域における *G. nagasakiense* の分布

※ 図中の等値線と数値は、塩分の値を示す。

G. nagasakiense (cells/ml): ○ → 0、● → 10^2 以下、● → $10^2 \sim 10^3$
 ● → $10^3 \sim 10^4$ 、● → 10^4 以上

り、沿岸域では *G. nagasakiense* の赤潮がみられなくなった。8月3日には、沿岸よりの8定点で *G. nagasakiense* の出現を確認できたが、すべて 10^2 cells/ml 以下の密度であった。更に、8月7日には *G. nagasakiense* が2定点で出現しただけで、ほとんどの定点で検出できなくなった。

赤潮期間中、熊野灘沿岸域の *G. nagasakiense* の分布調査を航空機と船舶による方法で行ってきたが、航空機は短時間で広域を観測できるという利点がある。特に赤潮のピーク時には原因プランクトンが純粹状態で高密度になって着色しているということもあり、非常に有効であると思われる。しかし、赤潮の初期や末期には珪藻をはじめとする他のプランクトンが高密度に出現するようになり、それらの干渉が強く作用するため、単に高空(航空機による)からの目視観察による着色状態だけから判断していくと大へんな誤りをおかすようになる。近年、高空(航空機による)からのクロロフィル a の分布状況の観測等も行われるようになってきたが船舶による採水と検鏡を組み合わせながらの調査体制が必要であると思われる。

(3) 熊野灘内湾域での出現状況

1) 佐野湾

調査定点を図7、*G. nagasakiense* の推移を図8に示した。佐野湾では魚貝類の養殖は行われていないが、天然アワビの被害が予想された。そこで、調査定点はアワビ漁場である鈴島周辺を中心に設定された。*G. nagasakiense* は7月10日までの3回の調査ではほとんどが 10^2 cells/ml 以下の密度であった。7月11日には 10^4 cells/ml を越える定点が出現し、徐々に高密度になってきた。7月16日は全定点が 10^2 cells/ml 以上の密度になり、更に7月17日には $1.8 \times 10^3 \sim 2.4 \times 10^4$ cells/ml の密度になり、調査水域一帯は非常に濃密な赤潮になってきた。しかし、この日以降は調査を行っていないため、佐野湾では赤潮の全体像を把握することができなかった。

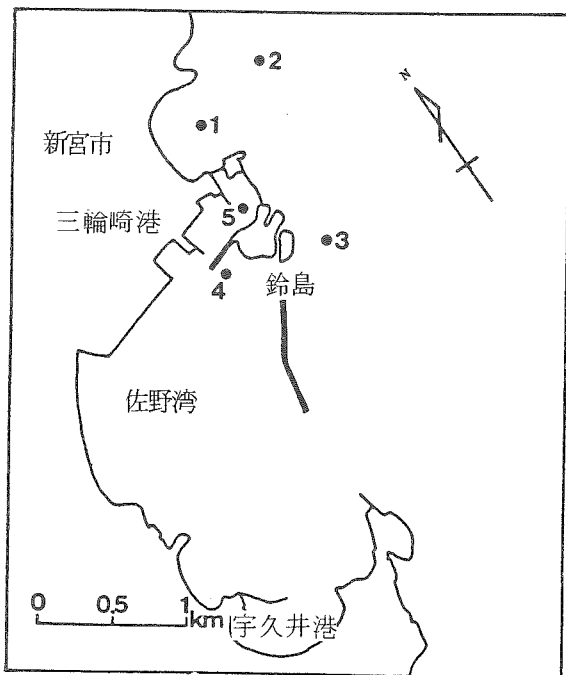


図7 佐野湾の調査定点

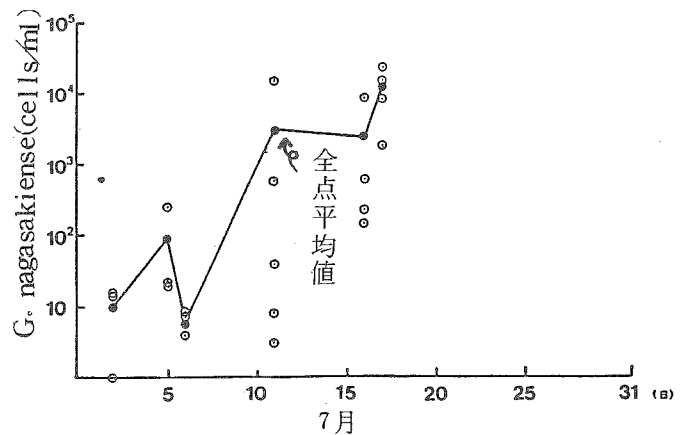


図8 佐野湾における *G. nagasakiense* の推移

※ 表面、5m層の全点の値を示す。

2) 勝浦周辺水域

調査定点を図9、*G. nagasakiense* の推移を図10に示した。*G. nagasakiense* は、調査開始時の7月2、3日頃には表面水で3~120 cells/ml、5 m層では50~180 cells/mlであった。その後、*G. nagasakiense* は増加しはじめ、5~7日頃に 10^3 cells/mlに達して、第1期のピークを示した。この時期には表面よりも5 m層で高密度になっていた。7月10日頃 *G. nagasakiense* は一時的に減少していたが11日頃から再び増加しはじめ、7月18日~25日頃に第2期目のピークを示した。この時期は第1期のピーク時と異なり *G. nagasakiense* は表面に上浮するようになり、5 m層よりも表面で高密度になっていた。また、この時期には 10^4 cells/ml以上の値も出現するようになり、水域全体が濃密に着色するようになった。ピークに達してからは急速に減少しはじめ、7月27日には、全点で *G. nagasakiense* を検出することができなかった。しかし、7月28日頃から再び増加しはじめ、7月30日に 10^2 ~ 10^3 cells/mlに達して第3期目のピークを示した。8月1日以降の状況は不明であるが、特に増加することもなく、このまま消滅していったものと思われる。

3) 太地周辺水域

調査定点を図9、*G. nagasakiense* の推移を図11に示した。調査開始当初の7月2、3日頃には *G. nagasakiense* が0~70 cells/mlであった。7月6~9日頃に第1期のピークを示したが、この頃は 10^3 cells/mlを越える定点が少なく、淡い着色が部分的に認められる程度であった。10日すぎから減少しはじめたが、14、15日頃から再び増加しはじめ、7月23~26日頃には第2期のピークを示した。この時には表面水での *G. nagasa-*

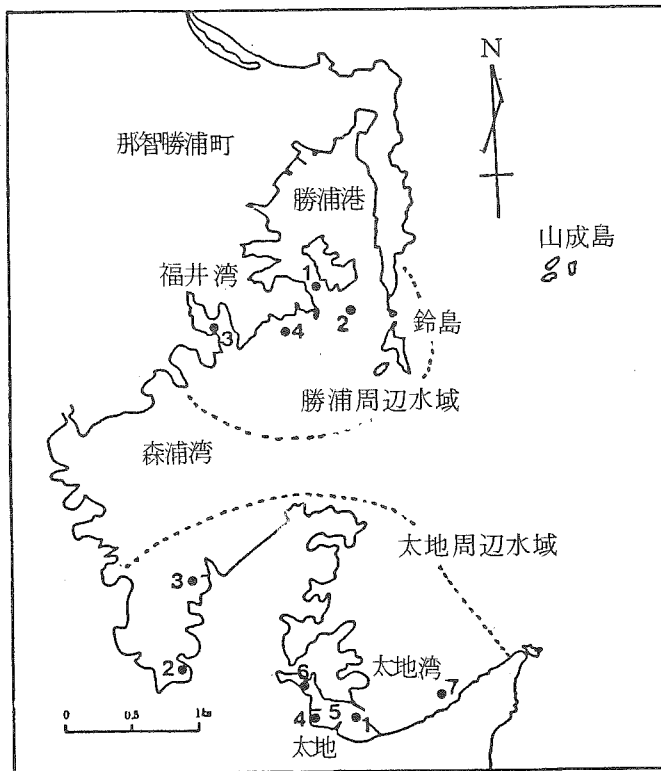


図9 森浦湾周辺水域の調査定点

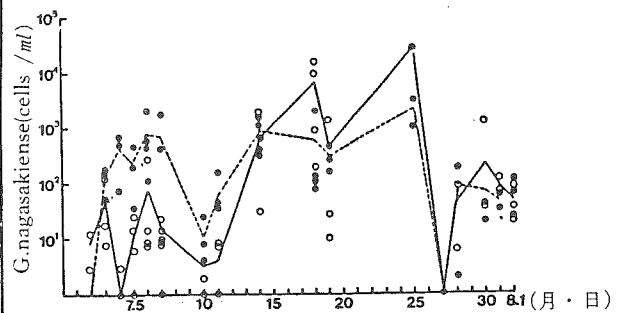


図10 勝浦周辺水域における
G. nagasakiense の推移

○ : 表面 □ : 5 m層

実線 : 表面の平均値

点線 : 5 m層の平均値

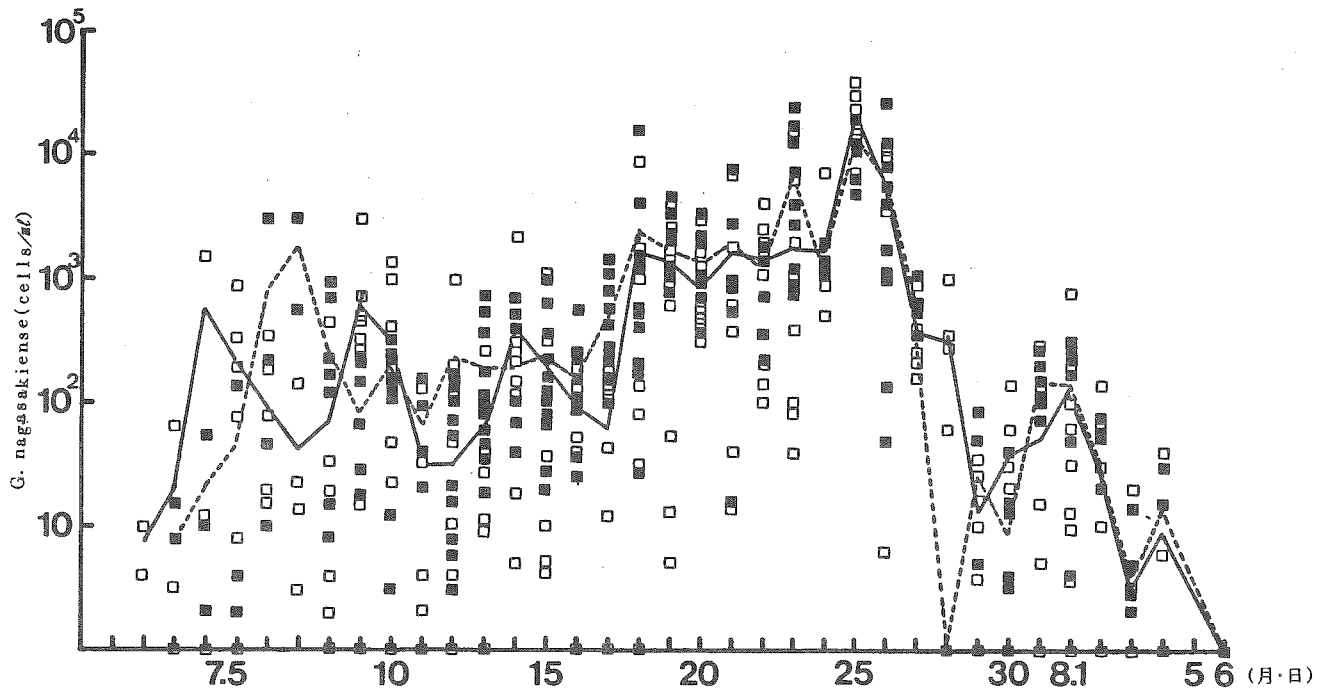


図11 太地周辺水域における *G. nagasakiense* の推移

□ : 表面 ■ : 5 m 層

実線 : 表面の平均値

点線 : 5 m 層の平均値

G. nagasakiense が $2.7 \times 10^3 \sim 2.0 \times 10^4$ cells/ml、また、5 m 層では $5.9 \times 10^3 \sim 1.4 \times 10^4$ cells/ml になり、非常に濃い着色がみられるようになった。しかし、25日頃から遊泳の停止した細胞の割合が増加しはじめ、27日頃から *G. nagasakiense* は急激に減少しはじめ、29、30日頃には全点平均値で20 (Max 140) cells/ml にまで低下していた。7月31、8月1日頃には再び、全点平均値で50~150 (Max 750) cells/ml にまで増加し、第3期を示した。しかし、この時には *G. nagasakiense* は 10^3 cells/ml 以上になることがなく、また、着色することもなかった。ピークに達した後は急速に減少しはじめ、8月6日には全定点で *G. nagasakiense* を検出することができなくなった。*G. nagasakiense* の出現動向は勝浦周辺水域と似かよっていた。しかし、表面と5 m 層での密度は近似しており、勝浦周辺水域でみられたような第2期目のピーク時における *G. nagasakiense* の浮上といった現象はみられなかった。ここでの定点はほとんどが5~8 m の水深しかなく、非常に浅かったため、表面と5 m 層に *G. nagasakiense* の密度差が出なかったものと考えられる。

次に St.5 における水温と *G. nagasakiense* の垂直移動分布を図12に示した。この定点での *G. nagasakiense* の推移は図11で示したこの水域全体の動向と非常によく似ていた。すなわち、3回のピークがみられるし、また、垂直分布をみても、図11と同様に、水深毎の密度差が少なく、表層から底層まで全期間にわたりほぼ近似した値で推移していた。水温

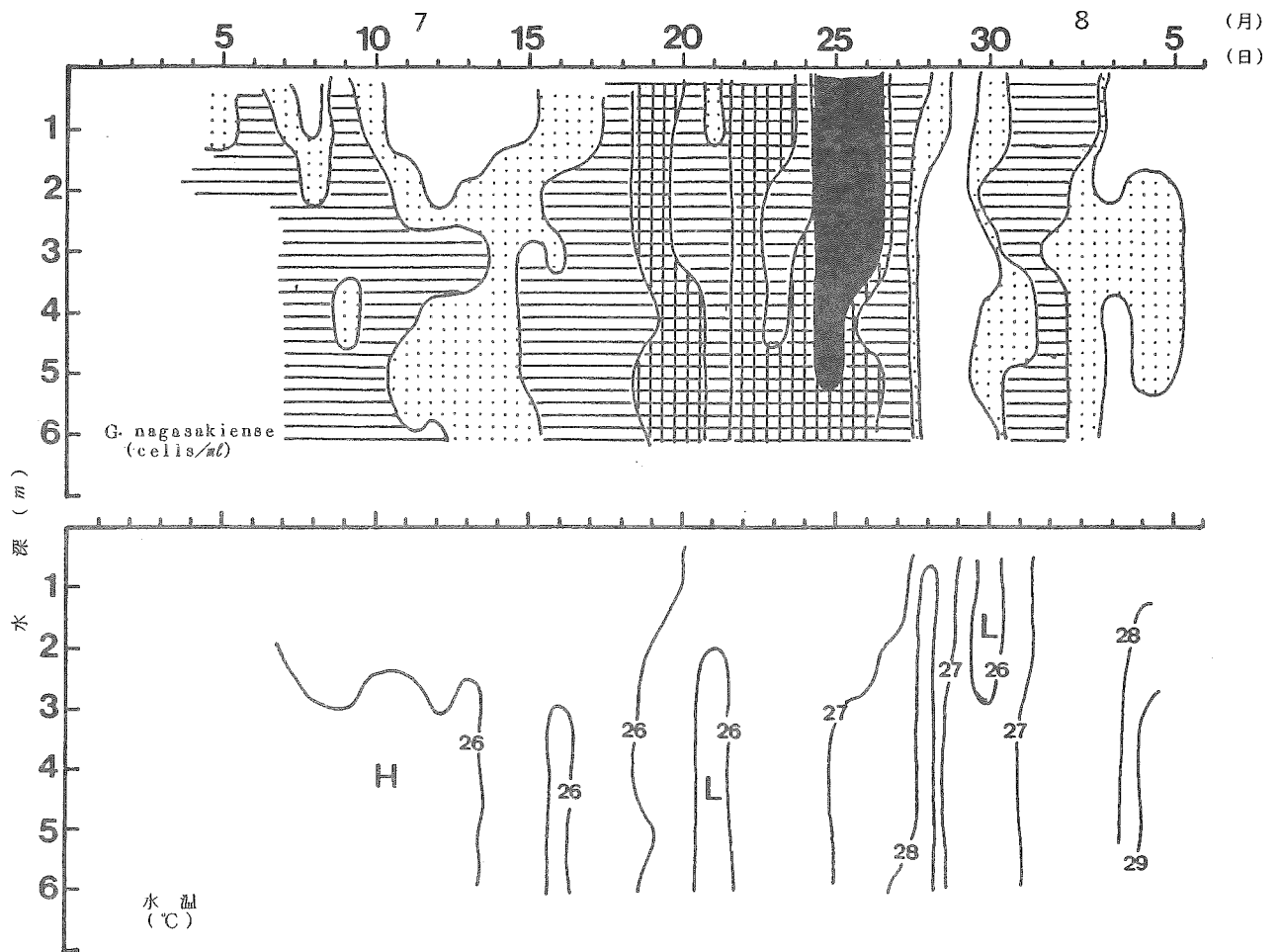


図12 太地湾 (St. 5)における *G. nagasakiense* と水温の垂直移動分布

※ *G. nagasakiense* : ○ → 10以下 ● (点) → 10^2 ● (横線) → $10^2 \sim 10^3$
 ● (縦線) → $10^3 \sim 10^4$ ● (黒) → 10^4 以上

は $25.0 \sim 29.0^\circ\text{C}$ の範囲で推移しており、表層から底層までの温度差が非常に少なかった。また、図11にみられたように *G. nagasakiense* が第2期目のピーク後、急激に減少している現象がみられた。この時、水温は 26°C 台から 28°C 台に一時的に急激に上昇している。この水温上昇の原因はわからないが、*G. nagasakiense* の停止細胞の出現、増加と遊泳細胞の急激な減少といった一連の現象に深く関与していたものと考えられる。

4) 浦神湾

調査定点を図13、図14に表面と5m層における *G. nagasakiense* の推移を示した。調査開始時の7月2日には表面で $0 \sim 6$ cells/ml、5m層で $0 \sim 64$ cells/ml の密度であった。その後、*G. nagasakiense* は急速に増加しはじめ、表面では、7月5日に、また、5m層では、7月4日に 10^3 cells/ml を越える値が検出されはじめ、この頃から湾内に赤潮状の着色がみられるようになった。表面水では7月上旬から中旬にかけて若干の日変化がみられるものの、微増し続け、7月25~27日頃にピークに達した。この時は全点平均値で 9.9×10^3 cells/ml の密度になり、湾全域が非常に濃密な赤潮に着色していた。一方、5m層では、7月6日頃に第1期のピークを示した。7月7日頃から徐々に減少しはじめたが、7月19

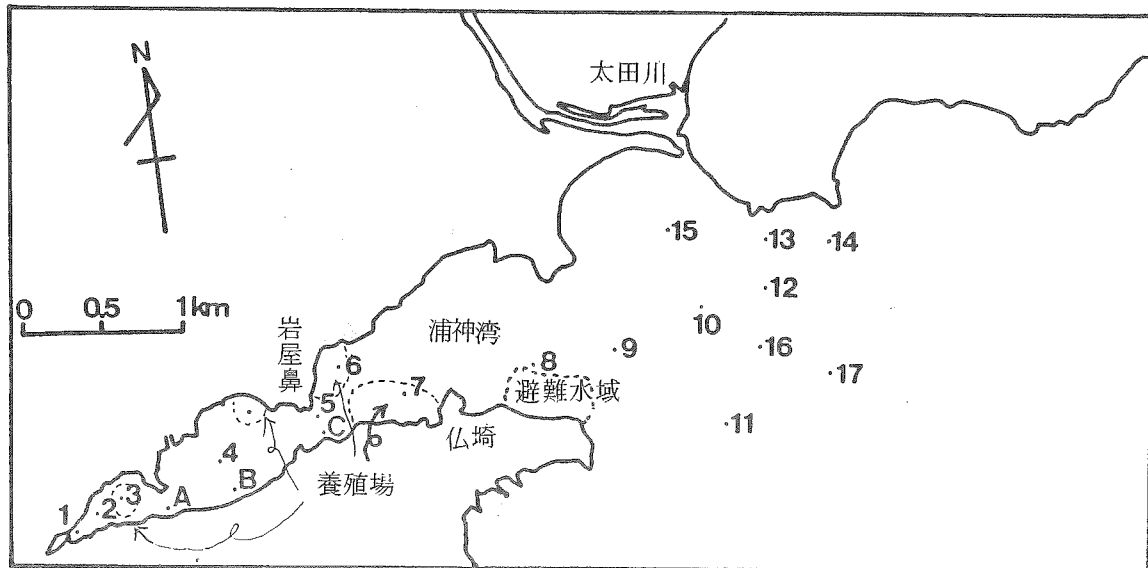


図 13 浦神湾の調査定点

日頃から *G. nagasakiense* は再び増加しはじめ、表面水同様に、7月25日～27日頃に第2期のピークに達した。この間、7月15日頃までは *G. nagasakiense* が表面よりも5m層で濃密に分布していたが、7月15日頃から、*G. nagasakiense* が浮上しはじめ、第2期のピーク時にかけて表面で濃密に分布するようになった。7月28日頃から両層とも *G. nagasakiense* が急激に減少しはじめ、7月30日には全点平均値で表面が3 cells/ml、5m層が12 cells/mlになった。8月上旬に再び増加しはじめ、第3期のピークになった。この時は表面水が全点平均値で18 cells/mlであったのに対し、5m層では、 10^3 cells/ml以上の定点もみられ、かなり濃密になっていた。

更に、浦神湾での *G. nagasakiense* の動向を整理するため表面と5m層における全点平均値による *G. nagasakiense* の推移を図15に示した。なお、浦神湾では図13にも示したように、調査定点を湾全体に設定しているので、この図15は浦神湾での *G. nagasakiense* の推移をほぼ正確に反映しているものと思われる。*G. nagasakiense* は図14にもみられたように3回のピークをもって推移していた。特に第2期のピーク時には、 10^4 cells/ml近くまで増加していた。この中で7月2日から6日、7月24日から25日、そして、7月30日から8月2日にみられるように *G. nagasakiense* が急激に増加している期間がある。そこで、この間の *G. nagasakiense* の増加を生長速度[※]に換算して計算すると、表2のようになる。平均世代時間は7月2日から6日が、0.44～0.59日、7月24～25日が0.24～0.30日、そして7月30日～8月2日の間が0.56～0.58日という値が得られた。*Heterosigma* sp. では1日に数回分裂することも報告されている⁵⁾が、*G. nagasakiense* の分裂時間については飯塚^{6, 7)}が現場調査から、また、飯塚、峯⁸⁾は、室内実験の結果から最大1.0日であると報告している。これらに比べるとここでの値が非常に短い時間であるこ

※ 生長速度： G (平均世代時間) = $\frac{0.301 \cdot t}{\log N - \log N_0}$

N_0 → 開始時の細胞数、

N → t 日後の細胞数

とがわかり、単に増殖だけで増加したものと考えるのは危険である。ここでの *G. nagasakiense* の急激な増加は、分裂増殖の姿をとらえたというよりはむしろ集積効果も強く働いた結果このような短い平均世代時間が得られたものと考えるのが妥当である。これらの期間には同湾では計算に用いた 0、5 m 層以外から、この 2 層に集積したというよりは、むしろ湾外から湾内への濃密群の補給がかなり行われていたものと推察される。

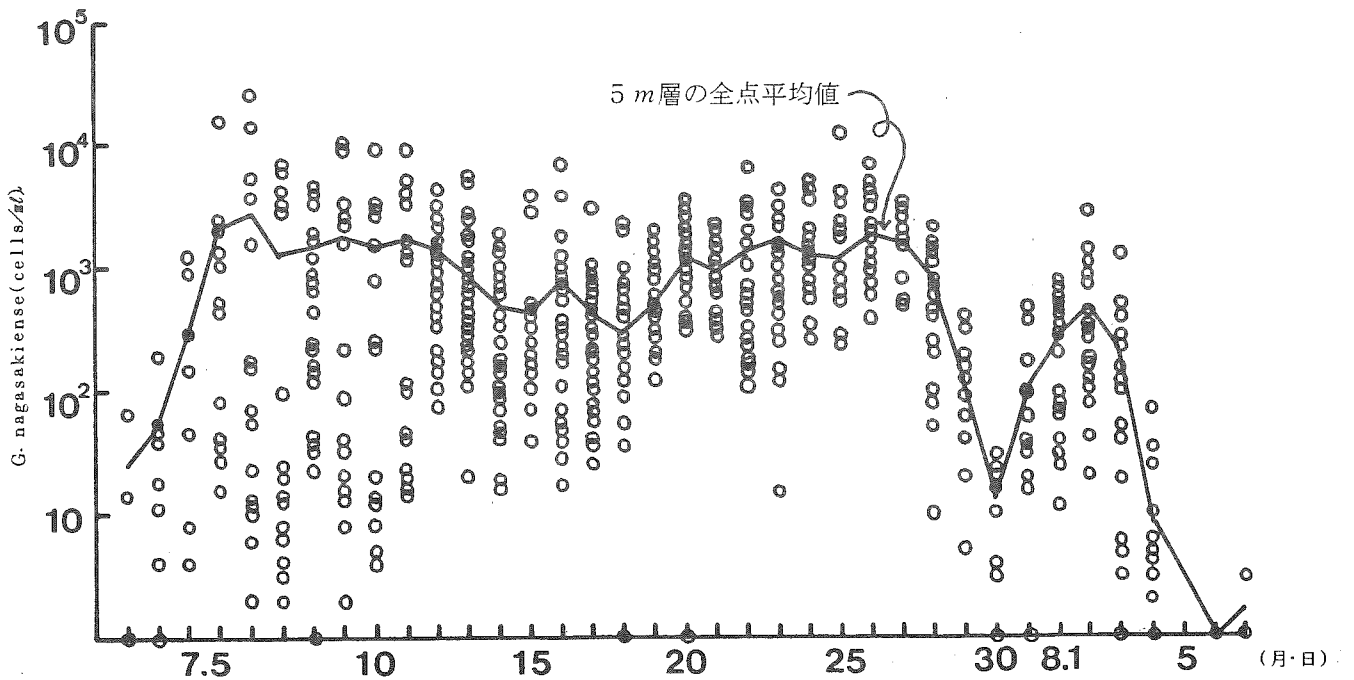
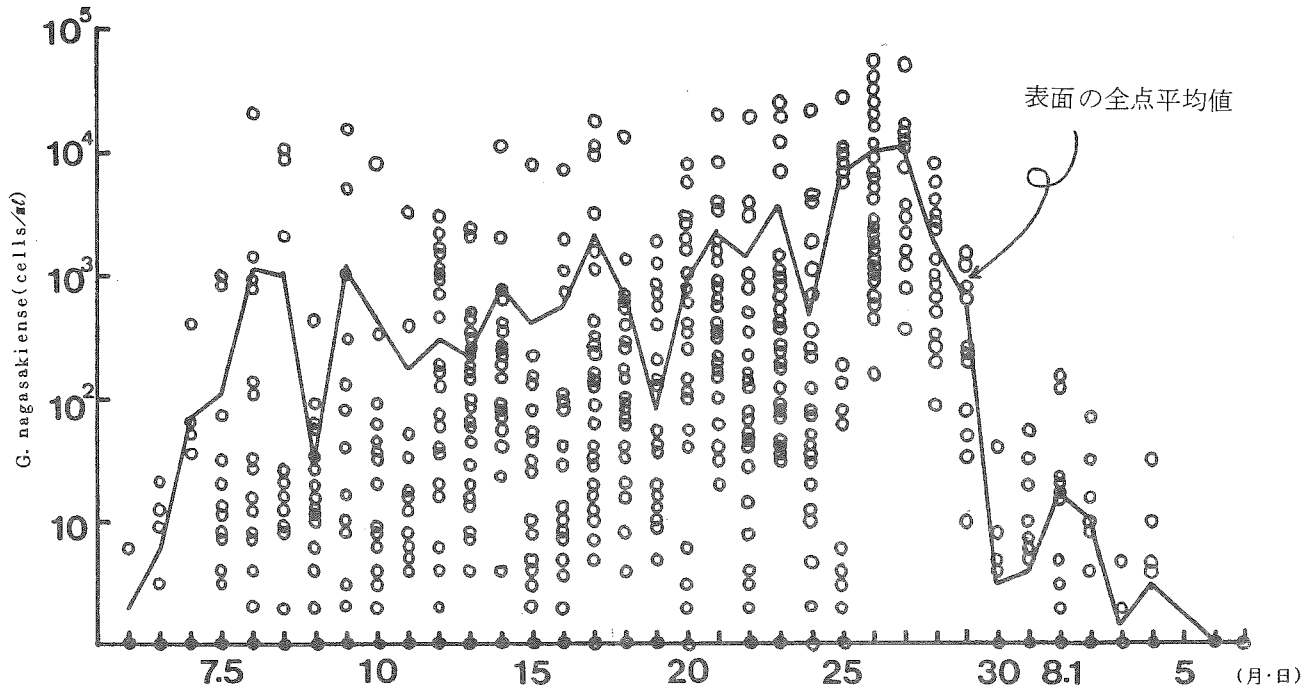


図14 浦神湾における *G. nagasakiense* の推移
上段：表面 下段：5 m 層

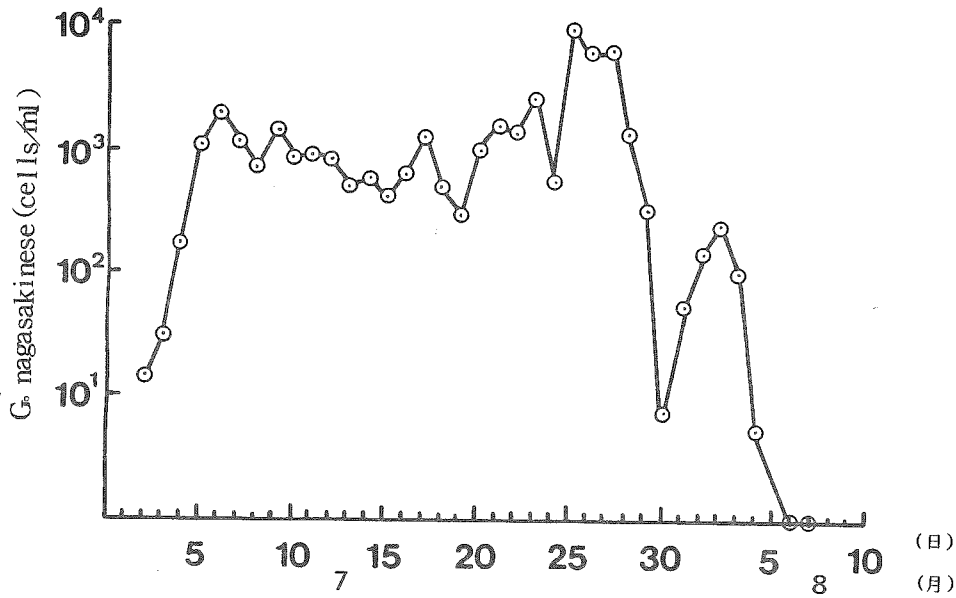


図15 浦神湾における *G. nagasakiense* の推移

※ 表面、5m層の全点平均値による。

表2 浦神湾における *Gymnodinium nagasakiense* の生長速度

No.	期 間	計算に要した層	G (平均世代時間: 日)
1	7月 2日— 6日(4日)	全 層	0.56
2	"	0 m層	0.44
3	"	5 m層	0.59
4	7月 24日— 25日(1日)	全 層	0.24
5	"	0 m層	0.27
6	"	5 m層	0.30
7	7月 30日— 8月 2日(3日)	全 層	0.58
8	"	5 m層	0.56

次に湾内での分布状況を検討するため、図16-1、2、3に *G. nagasakiense* の水平分布を示した。第1期目のピーク時にあたる7月5日には、湾奥部で濃く、湾中央の養殖漁場から湾口にかけての水域で若干少なくなっていた。また、第2期のピーク前にあたる7月12日や20日、23日と24日には *G. nagasakiense* が、湾奥部と湾口部で濃密になり、湾中央部から仏埼付近にかけての水域で淡くなっていた。ところが、26日には、湾奥から湾口部にかけての全定点が 10^3 cells/ml 以上の密度になり、湾全域で非常に濃密な状況になっていることがわかる。また、第3期目のピークまでの5m層の値を示しているが、7月31日、8月1日、2日と徐々に湾口から湾奥部にかけて濃密群の移動してくる状況が認められる。こ

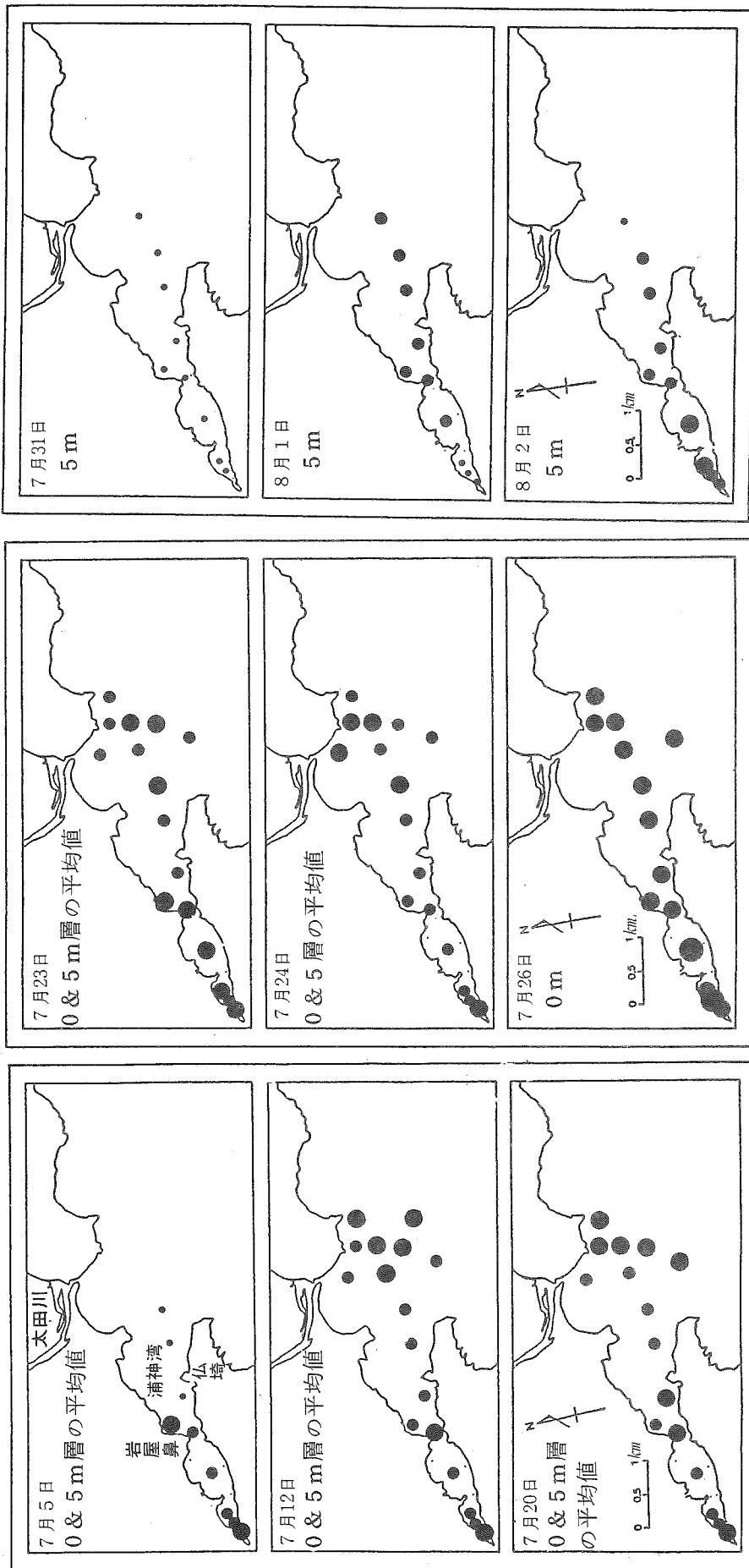


図16-1 浦神湾における *G. nagasakiense* の分布

図16-2.

※ *G. nagasakiense* (cells/ml) → ● : 10^2 以下 ● : $10^2 \sim 10^3$
 ● : $10^3 \sim 10^4$ ● : 10^4 以上

図16-3.

のように浦神湾では第2期のピーク時と、第3期を除くと湾奥部と湾口部が濃く、湾中央部で若干淡くなるといった分布が一般的にみられた。この *G. nagasakiense* の分布パターンが後述するように、今回の赤潮において浦神湾での漁業被害が比較的少なかったことと密接に関係しているように思われる。

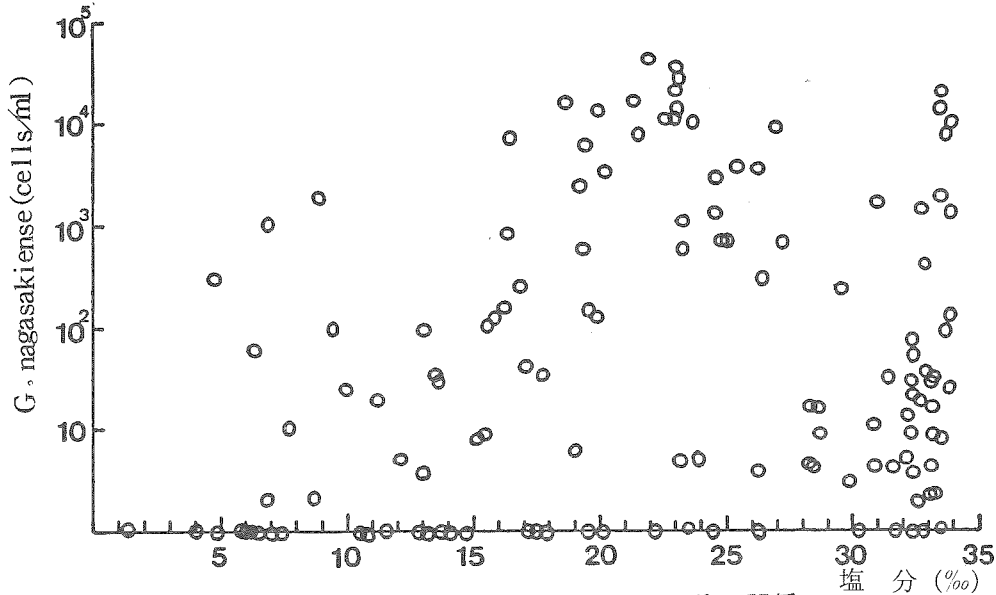


図17 浦神湾奥部での *G. nagasakiense* と塩分の関係

※ 表面水の値による。

図17は湾奥部表面水での *G. nagasakiense* と塩分の関係を示したものである。ここでは外海からの集積による影響をできるだけ除外するため湾奥部 (St. 1~5) の値を用いた。*G. nagasakiense* は5~35‰の塩分範囲に出現し、非常に広範囲に適応していることがわかる。特に7~9‰の低塩分域でも 10^3 cells/ml 以上の密度になっていた。また、 10^4 cells/ml 以上の密度は18.0~34.0‰の範囲にみられたが、この付近が *G. nagasakiense* の至適塩分域になるものと思われる。

5) 串本~大島周辺水域

調査定点を図18、図19に表面と5m層における *G. nagasakiense* の推移を示した。ここでは12定点を設定して1日に1~4回調査を行った。そのため測定値が多く、各定点での値を示すと非常に見づらくなる。そこで、図19では各観測時の表面と、5m層での全点平均値と2層全点平均値をプロットした。*G. nagasakiense* の出現をはじめて確認した6月30日には1定点だけの値であるが、図1にも示したように、表面が16cells/ml、5m層が10 cells/mlであった。ところが、7月1日には、すでに表面が456cells/ml、5m層が196 cells/mlになっていた。7月8日には1回目のピークに達したが、この時には表面が $10^2 \sim 4.0 \times 10^3$ cells/ml、また、5m層が $10^3 \sim 2.9 \times 10^3$ cells/mlになり、水域一帯が淡い着色状態になっていた。7月9日頃から *G. nagasakiense* が徐々に減少しはじめ、7月12日までこの傾向が続いた。6月30日から7月12日までをこの水域での第1期赤潮とみなせるが、この期間は *G. nagasakiense* が表面よりも5m層で濃く分布しており、ピーク時の7月7、8日頃にその傾向が著しい。7月13日頃から *G. nagasakiense* は再び

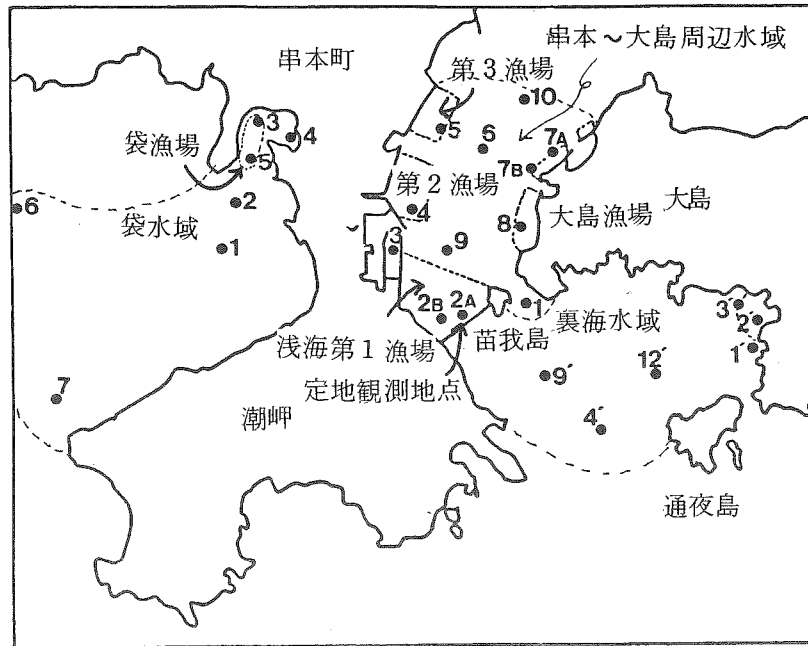


図18 串本町周辺水域の養殖場と調査定点

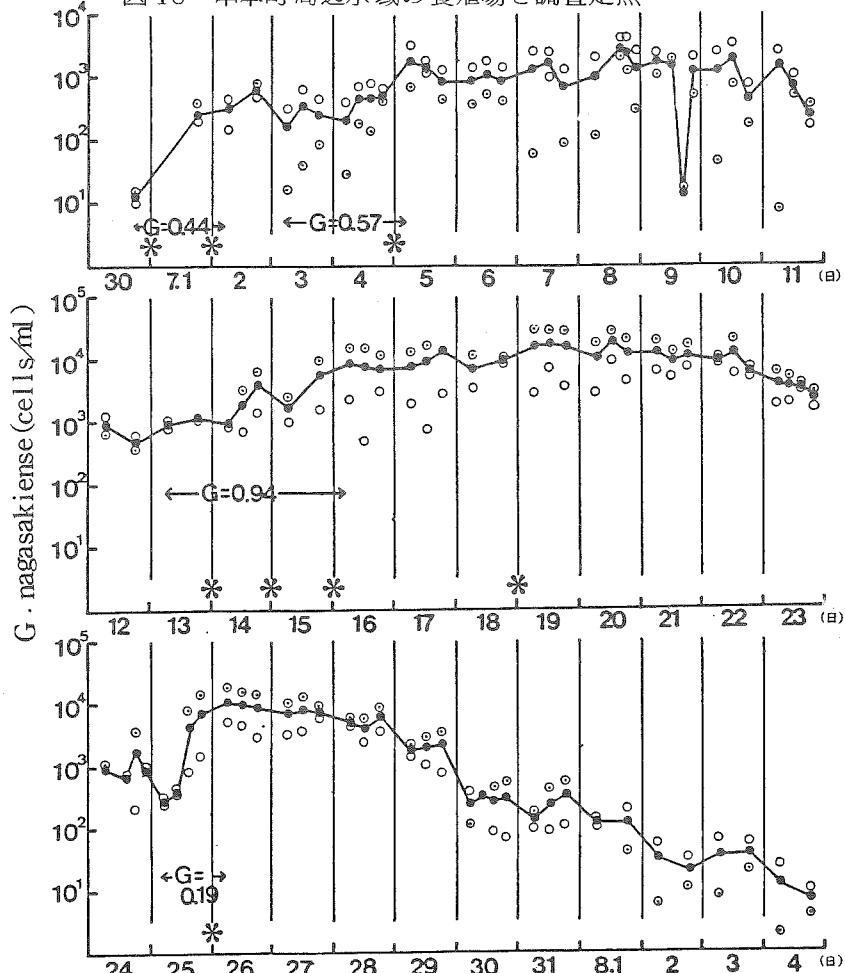


図19 串本～大島周辺水域における *G. nagasakiense* の推移

※ G : 平均世代時間

※ * : *G. nagasakiense* の密度が前日よりも倍以上になった日を示す。

※ ○ : 表面、 ○ : 5 m 層、 ● : 表面と 5 m 層の平均値

増加しはじめ、7月16日には表面での値が 10^4 cells/ml 以上になり、更に、19~21日頃には、表面と5mの2層平均値も 10^4 cells/ml 以上の密度に達して2回目のピークを示した。22日頃から徐々に減少しはじめ、7月25日の午前中までこの傾向が続いていた。7月13日から25日までが第2期赤潮となり、この期間には、多くの定点で 10^4 cells/ml 以上の密度になり、水域一帯が非常に濃密な赤潮になっていた。また、この時期には、*G. nagasakiense* が5m層よりも表面で濃密に分布するようになったが、この *G. nagasakiense* のピーク時における表層浮上現象は、昭和55年の赤潮時にも観察され²⁾、また、飯塚・平山⁹⁾も同様な現象を報告している。*G. nagasakiense* は再度25日の午後から急激に増加しはじめ26日に3回目のピークに達した。この時、*G. nagasakiense* は表面水で 10^4 cells/ml 以上になり、また5m層でも $3.0 \times 10^3 \sim 5.0 \times 10^3$ cells/ml の密度になり、水域一帯が非常に濃密に着色していた。しかし、27日頃から徐々に減少しはじめ、7月30日頃から赤潮としての着色現象が消え、更に8月7日には *G. nagasakiense* が全く検出できなくなった。他水域と同様にここでも *G. nagasakiense* が大きく3回の増加期を示しながら推移していた。そして、この3回の増加期の初期段階で *G. nagasakiense* が非常に急速に増加していることがわかる。そこで、この期間の増加速度を *G. nagasakiense* の群生長として、平均世代時間に換算したものが図19に示してある。すなわち、第1期が0.44、0.57日、第2期が0.94日、そして第3期は0.19日であり、浦神湾の場合(表2)と同様に非常に短い時間が得られた。そのため、この増加期の値を *G. nagasakiense* の分裂、増殖による値と考えるよりはむしろ集積効果のきいた値と考えるのが妥当であろう。ここでも浦神湾でみられたように水域外からの *G. nagasakiense* の大量補給が絶えず行われ、集積された結果このように *G. nagasakiense* が高密度に長期間維持され、また、このような急増現象がみられたものと思われる。

図20-1、2、3は赤潮の1期、2期と3期における表面と5m層における *G. nagasakiense* の分布を示したものである。1期については7月5日と8日の値を示した。表面では両日とも 10^3 cells/ml 以上の値が5定点ずつみられたが、なお、 10^2 cells/ml 以下の定点もみられた。しかし、5m層では、ほとんどの定点が 10^3 cells/ml 以上の密度になっており、表面に比べるとかなり濃かった。この時点では水域全体が淡く着色していた。2期については7月16日と20日の値を示した。この時期は図19にも示したように赤潮が最も濃密になっていた時であるが、両日とも表面では 10^4 cells/ml 以上の密度が多く出現していた。それに対して5m層では若干少なく、16日には 10^4 cells/ml 以上の定点が1定点、また20日は4定点出現してただけで、ほとんどが $10^3 \sim 10^4$ cells/ml の範囲にあった。3期については、7月26日と29日の値を示した。7月26日には、裏海水域を除くと表面ではほとんどが 10^4 cells/ml 以上の密度であり、ここでは赤潮が依然としてかになり濃密に着色していた。しかし、5m層では $10^3 \sim 10^4$ cells/ml の密度が多く、表面に比べると若干少なかった。7月29日には表面が $10^3 \sim 10^4$ cells/ml、また、5m層では $10^2 \sim 10^3$ cells/ml の値が多くなり、赤潮は若干淡くなっていた。

この水域では長時間にわたって、*G. nagasakiense* が非常に濃密に分布していることが

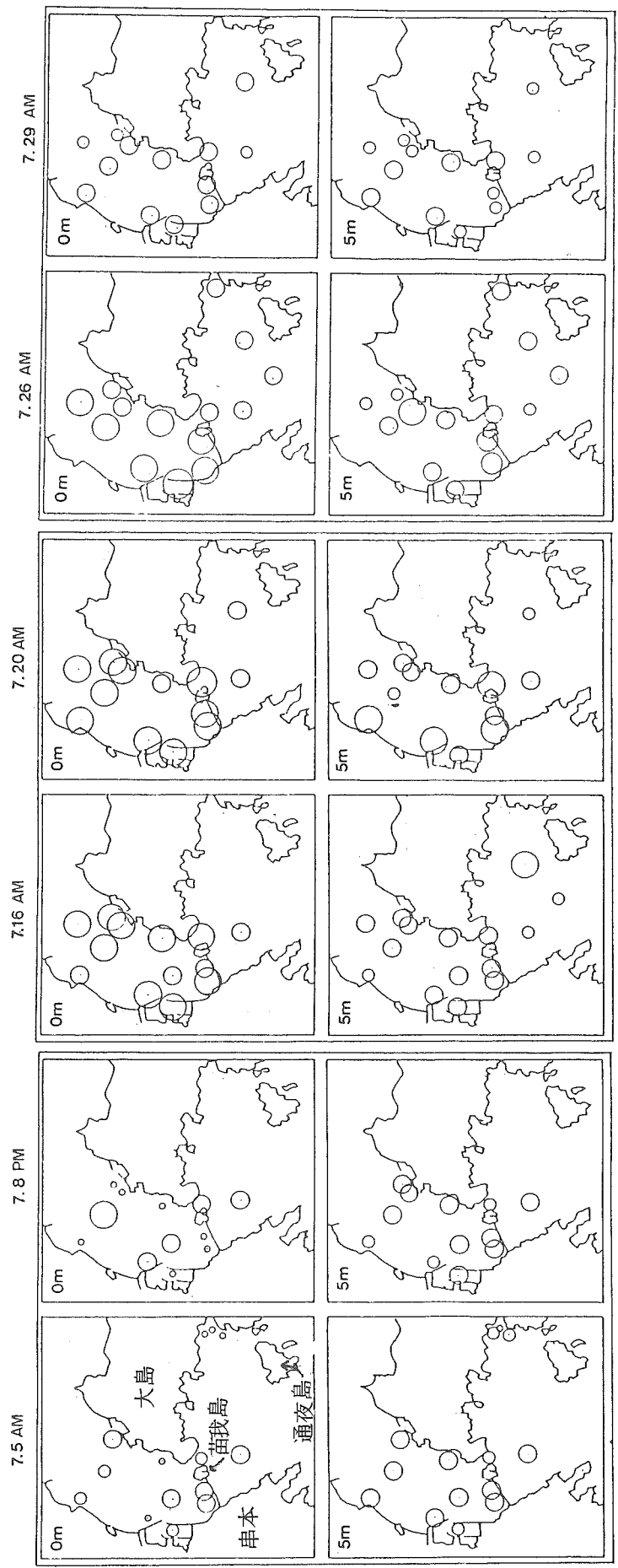


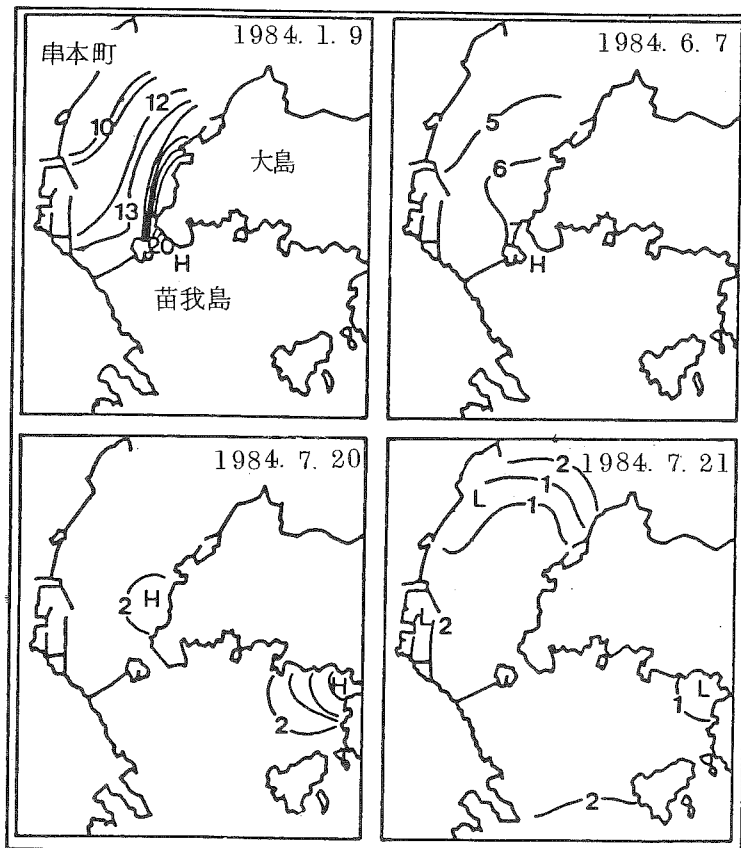
図20-1 串本周辺水域における
G. nagasakiense の分布

図20-2

図20-3

※ G. nagasakiense (cells/ml) →
 ○ : 10^2 以下
 ○ : $10^2 \sim 10^3$
 ○ : $10^3 \sim 10^4$
 ○ : 10^4 以上

わかった。そこで、この期間を通常時と比較するため、赤潮発生時と非発生時における透明度の分布を図21に示した。まず、赤潮非発生時であるが、1984年1月9日には、水域全体が10m以上の値になっていた。特に苗我島付近では20mという値もみられ、非常に清澄であることがわかる。6月7日は5~7mの分布になり、若干濁っていたが、これは降雨後の河川水の影響が強くて出たためと思われる。一方、赤潮発生時についてみると、7月20日はほとんど2m以下になっていた。また、7月21日には1m以下の水域もみられ、通常時に比べて透明度の低下した濁った状態であることがわかる。



単位：m

図21 串本周辺水域における赤潮発生時と非発生時の透明度分布

図22は、浅海第1漁場(St. 2B)における *G. nagasakiense* と水温、塩分の垂直移動分布を示したものである。*G. nagasakiense* は7月15日頃までは、全層にわたり、 10^4 cells/ml以下の密度であった。そして、10~12日頃にみられるように、表面が 10^2 cells/ml以下であるのに対して、10~15m層が 10^3 cells/ml以上の密度になっていることもあり、この期間には一般に表層よりも中層付近で濃密に分布していた。15日頃から *G. nagasakiense* は表層に浮上して集積するようになり、 10^4 cells/ml以上の密度が出現するようになった。 10^4 cells/ml以上の密度層は7月20日頃まではしだいに厚みを増し、中層に向かって下がっていく様子が見られた。赤潮の2期から3期にかけての期間には、*G. nagasakiense* が表層で最も濃く、中、底層に向かって徐々に少なくなっていた。また、7月28日頃から消滅期にかけても、表層で濃く、中~底層で少なくなっていた。

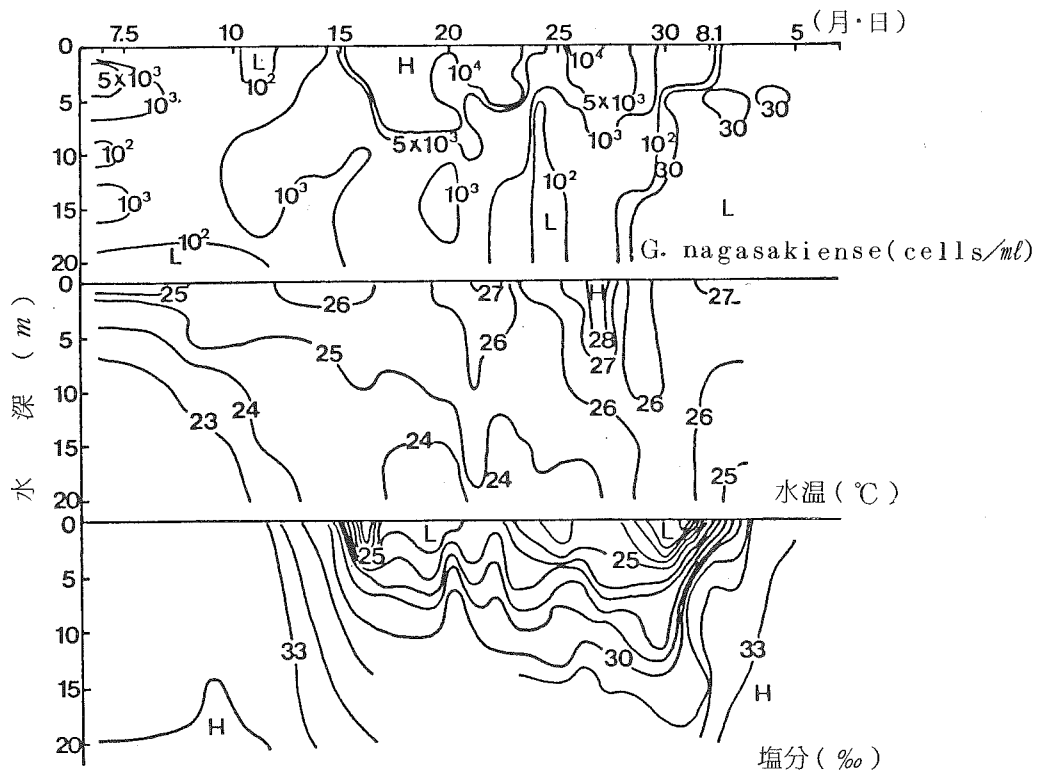


図22 串本浅海第1漁場(St. 2B)における *G. nagasakiense* と水温、塩分の垂直移動分布

このように赤潮の初期段階には *G. nagasakiense* が表層よりも中層で濃密であるが、一定期間の後、表層に浮上して非常に濃密になるという結果が得られたが、これは他水域でも観察されているし、また、1980年の赤潮時²⁾にもみられている。*G. nagasakiense* については飯塚、平山⁹⁾が中層で増殖を開始した群集がある一定の濃度までゆっくりと成長し、その後、表層に浮上し、群形成をおこなうと報告している。また、松平・川上¹⁰⁾は運動性を有する赤潮鞭毛藻は生長の盛期あるいは安定期に入る前段階で表層に浮上し、群形成を行うと報告している。

次に、赤潮発生時の表層水温は24.6~28.6°C、底層水温は22.2~26.4°Cであった。*G. nagasakiense* 出現時の水温としては1980年²⁾の場合より、若干、高水温であった。しかし、田辺湾では表層水温が25°Cになった時に *G. nagasakiense* の赤潮の発生しやすいことが報告されているし¹¹⁾、また、出現時の水温は田中ら¹²⁾、高知県水試¹³⁾、飯塚・入江¹⁴⁾とほぼ一致している。

塩分は表層を中心に非常に低下していた。特に *G. nagasakiense* が濃密になっていた2期から3期にかけての15日頃から8月3日頃までは、5m以浅では25‰以下、更に、10~15m以浅でも30‰以下になっていた。黒潮の影響を絶えず受け、また、開放的な漁場であるここでは、梅雨等の降雨により、一時的な塩分低下はみられるものの、通常時は34.0‰前後の値で推移している。このように長期にわたり塩分低下のみられたことは、非常に珍しい

現象であるが、この塩分低下は熊野灘沿岸域(図6)でもみられており、ここでも、塩分低下がN、Pの供給をおこし、*G. nagasakiense*の増殖ないし、高密度で長期化したことにつながったものと思われる。

水温、塩分と*G. nagasakiense*の垂直分布、更に、*G. nagasakiense*の各観測時の最大濃密層の値を100とした時の各層の相対値による垂直分布を図23に示した。まず、1期(7月4、8、9、11日)についてみると、水温は表層が24、25℃台、底層が22、23℃台で、7月9、11日にみられるように中層付近に躍層が形成されている。塩分については表層で33‰、また、底層は34‰台で推移し、特に大きな変化がみられなかった。一方、*G. nagasakiense*は3~7mの躍層付近に極大層があり、最も濃く分布していた。しかし、密度は、 10^4 cells/ml以下であり、ある層に極限して分布するというよりはむしろ、比較的広い層にわたって均一に分布していた。第2期については、7月16日と20日の値を示したが、この時期には図22にも示したように、表層には高温、低かん水、また、5m以深には低温で、比較的高かん水が分布し、密度成層が強固に形成されていた。*G. nagasakiense*は成層上に多く出現し、表層に極限して分布するようになった。特に7月16日、St. 2Bでは表面が 3.6×10^4 cells/ml(100%:相対値)、1m層 2.8×10^4 cells/ml、2m層 1.2×10^4 cells/mlであるのに対し、3m以深では 2.0×10^3 cells/ml以下(相対値:6%以下)の密度になり2m以浅で濃密に極限して分布していた。また、7月20日、St. 10では表層で最も濃かったが、 10^4 cells/ml以上の密度が8m付近にまで達していた。3期については、7月26、27日の値を示したが、2期と同様で密度成層が強固に形成されており、*G. nagasakiense*は成層上に極限して分布していた。特に、7月26日St. 2Bでは、7m以深が相対値で1%以下の分布になっており表層に極限して分布する様相が著しい。このように第2~3期にかけて*G. nagasakiense*が表層で高密度に分布していることがわかったが、この高密度層では塩分が非常に低下していた。また、図22にもみられるように、 10^4 cells/ml以上の分布層と低かん域の出現がよく一致している。この低かん化は降雨による陸水の導入によるものであるが、この陸水の導入に伴い、N、Pといった栄養塩が水域に大量に導入されたものと考えられる。*G. nagasakiense*は栄養塩の高濃度に補給され続けた表層で活発に増殖していたため、このような表層分布を示したものと考えられる。更に赤潮の濃密化に伴う透明度の低下により、有光層が縮小化されていたことも想像されるが、この有光層の縮小が光合成を行う*G. nagasakiense*を表層に集積させたものと考えられる。

図24は濁度計(マーテック社XMS-300型)による透過率の垂直分布を示したものである。St. 8では表層から底層まで全層にわたって50%前後の値が分布しているが、7m付近で10%以下の値になっている。また、St. 9'では5mと8m付近に10%以下の高濁度層がみられる。このように、高濁度層は両定点とも非常に極限していた。この時期、透過率は*G. nagasakiense*の密度と非常に良く相関していることがわかる(図25)。そのため、ここでの濁度の低下は*G. nagasakiense*の高密度層をとらえたことによるものと考えられる。この調査は赤潮1期の7月11日に行ったものであるが、*G. nagasakiense*はこのように形で、中層域のある層に極限して分布していることもあった。

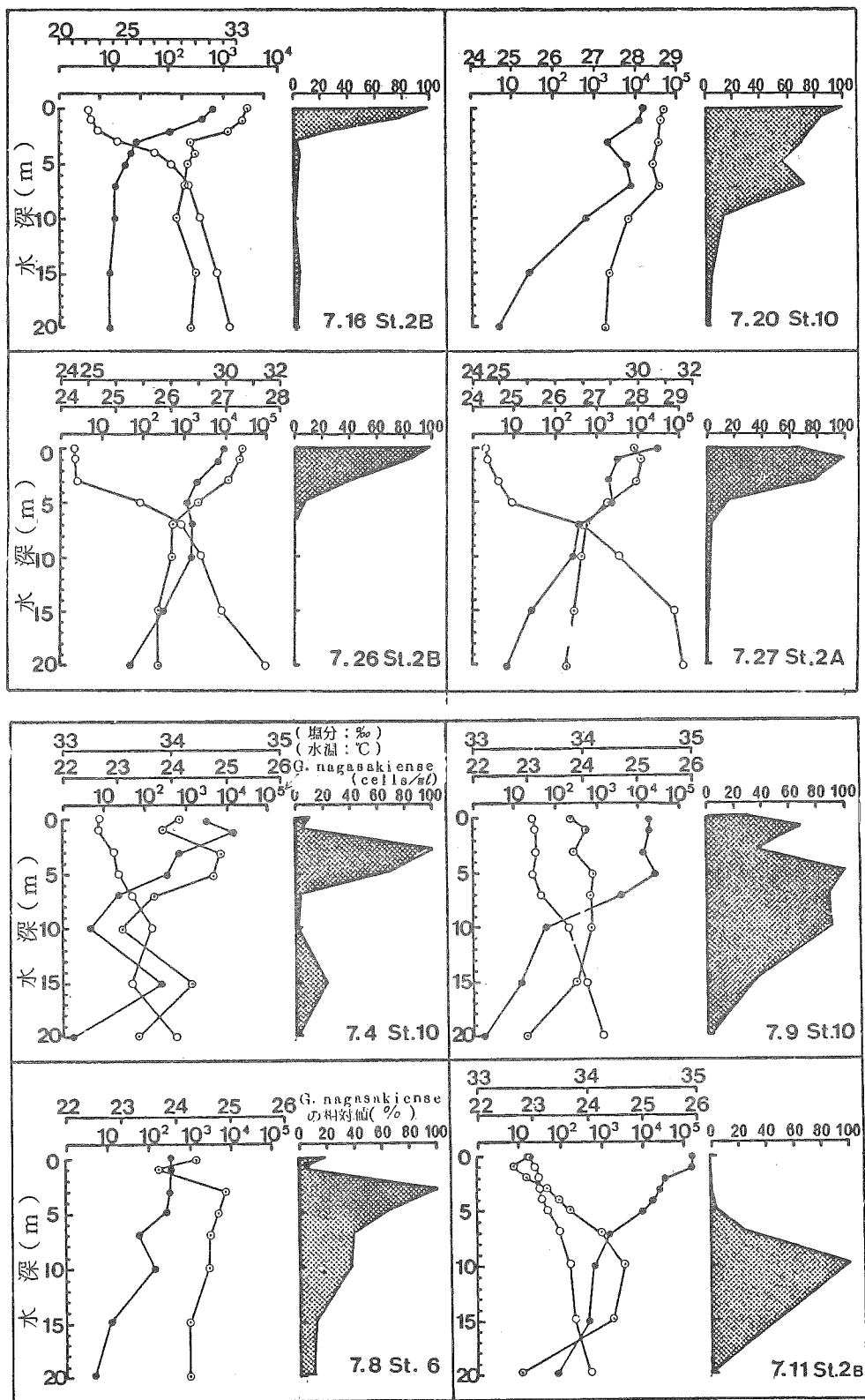


図23 串本～大島周辺水域の定点における水温、塩分と *G. nagasakiense* の細胞数及び相対値の垂直分布

※ —○— : 水温 ○—○— : 塩分 ○—○— : *G. nagasakiense* の細胞数
 ■■■ : *G. nagasakiense* の相対値

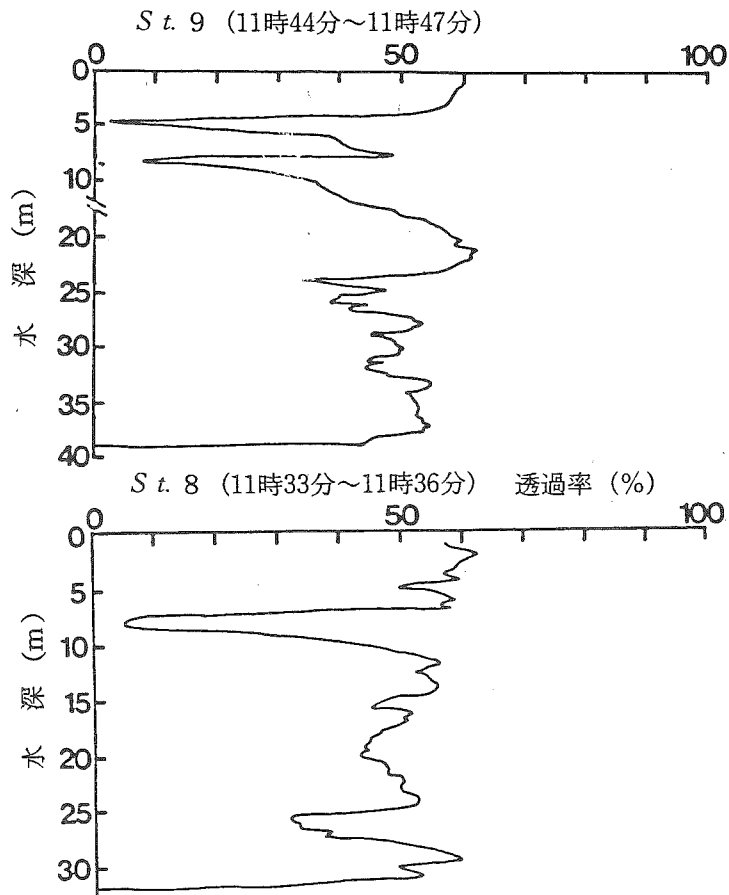


図24 濁度計による透過率の垂直分布

※ 7月11日調査

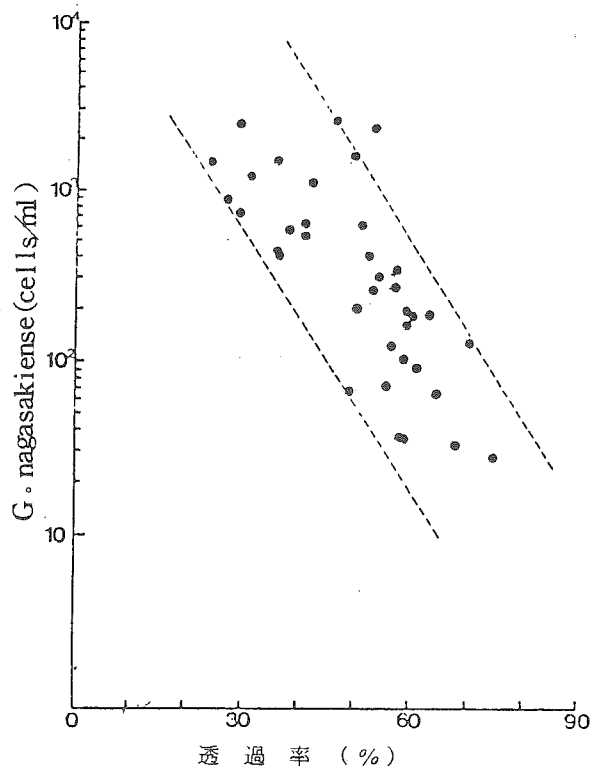


図25 濁度計の透過率と *G. nagasakiense* の関係

6) 裏海水域

調査定点を図18、*G. nagasakiense*の推移を図26に示した。調査開始時の7月3日には、*G. nagasakiense*が表層で82~311 cells/ml、また、5m層では、2~159 cells/mlであった。7月5日には10³ cells/ml以上の値が出現するようになり、水域が淡く着色するようになった。7月12日頃までが串本~大島周辺水域でみられた赤潮の1期目にあたるが、この時期には*G. nagasakiense*が表層よりも5m層でわずかに濃く分布していた。7月21日には全点平均値で10⁴ cells/ml以上の密度になり、2回目のピークを示した。7月13日から24日頃までが赤潮の第2期目に当たるが、他水域と同様にここでも非常に濃密な赤潮になっていた。また、この期間には*G. nagasakiense*は5m層よりも表層で濃く分布していた。更に、7月27、28日頃には、第3回目のピークがみられ、赤潮の3期目を示した。この期間も*G. nagasakiense*は表層の方が濃密に分布していたが、8月に入ってから表層の方が5m層よりも急速に減少した。このように、裏海水域でも串本~大島周辺水域と同様に赤潮が3期に区分されるが、他の水域に比べると若干、不鮮明であった。

7) 袋水域

調査定点を図18、*G. nagasakiense*の推移を図27に示した。ここは図18からもわかるように紀伊半島の西岸にあたり、潮岬を界して枯木灘の南端に位置している。そのため、

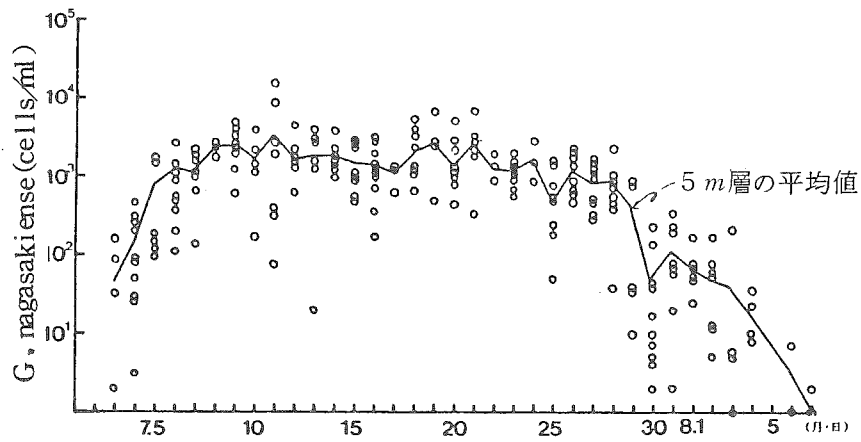
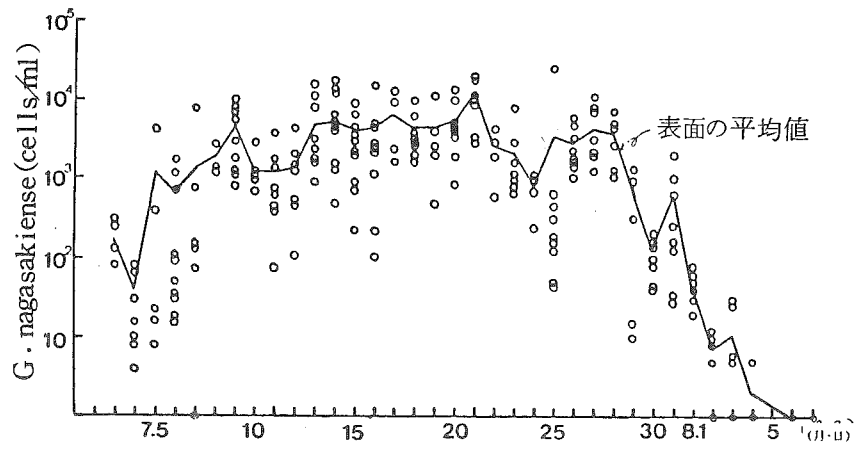


図26 裏海水域における *G. nagasakiense* の推移

上段：表面

下段：5m層

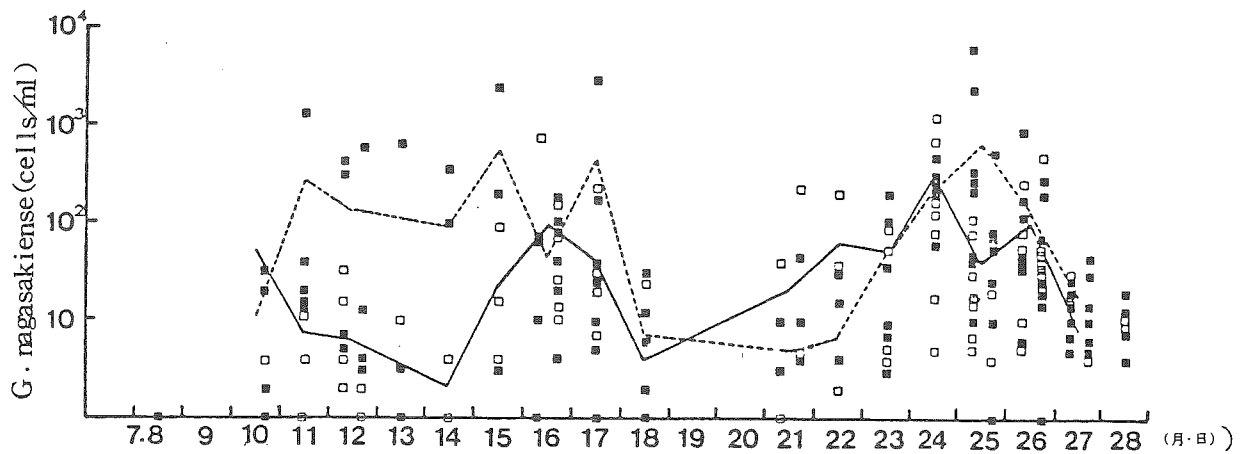


図27 袋水域における *G. nagasakiense* の推移

□：表面 ■：5m層

実線：表面の平均値 点線：5m層の平均値

G. nagasakiense の出現が他水域(№1～6)よりも若干遅れていた。7月8日には出現を確認することができなかったが、7月10日に表面で、0～150 cells/ml、5m層で0～32 cells/ml の G. nagasakiense がはじめて確認された。しかし、その後は熊野灘のように 10^4 cells/ml 以上に増殖することがなく、7月15～17日頃と24、25日頃にピークを示して淡い着色がみられた程度で、濃密な赤潮になることがなかった。また、全期間を通して、G. nagasakiense は表面よりも5m層の方で若干濃く分布しており、表層に浮上するような現象はみられなかった。

2. 赤潮発生時の環境

1984年6月上旬から8月上旬にかけて、熊野灘一帯で G. nagasakiense の大規模な赤潮が発生した。この赤潮は南部域にも出現し、7月上旬から8月上旬にかけて、約1ヶ月間、非常に大規模な赤潮になった。そこで、赤潮が熊野灘の南部域に出現した経緯と、このように長期化し、しかも、大規模になったことの原因を環境要因との関連性から究明する。

方 法

気象は和歌山県気象月報、また、海象については、漁業情報サービスセンター漁海況速報、当場の沿岸定線調査結果と、定地観測結果(図18の定点)を用いて取りまとめた。

結果 および 考察

(1) 気 象

今年の梅雨入りは、6月10日で平年より2日おそく、また、梅雨明けは7月17日でほぼ平年並であった。この梅雨から梅雨明け後にかけて大気的不安定状態が続き、ぐずついた天候が多かった。7月30日頃から高気圧におおわれて、天気が安定しだし、本格的な真夏に入った¹⁵⁾。6月中、下旬にかけての潮岬での気象は気温が平年並～やや高め、降水量がやや少な目(平年比50～73%) また、日照時間は平年並に推移していた¹⁵⁾。7月の気温とその平年差の推移を図28に示した。上旬は、27、28℃台まで昇温し、平年よりもやや高めであった。しかし、中～下旬には、ぐずついた天候のため、昇温せず、24～27℃で推移し、ほぼ平年並になった。

7月の日照時間の推移を図29に示したが、1984年は平年比の97%であった。これを旬別にみると、上旬には10時間以上の日が6日もあり、平年よりやや多かったが、中旬はやや少な目、そして下旬には平年並になった。

7月の降水量の推移を図30に示したが、1984年7月に502.5mm(平年比175%)あり、平年よりもかなり多かった。また、旬別にみると、上旬は平年よりかなり少なかったが、中旬以降はかなり多目に推移していた。また、13日、23日と29日には100mm以上の集中豪雨がかった。

図31に7月の潮岬における風配図を示した。

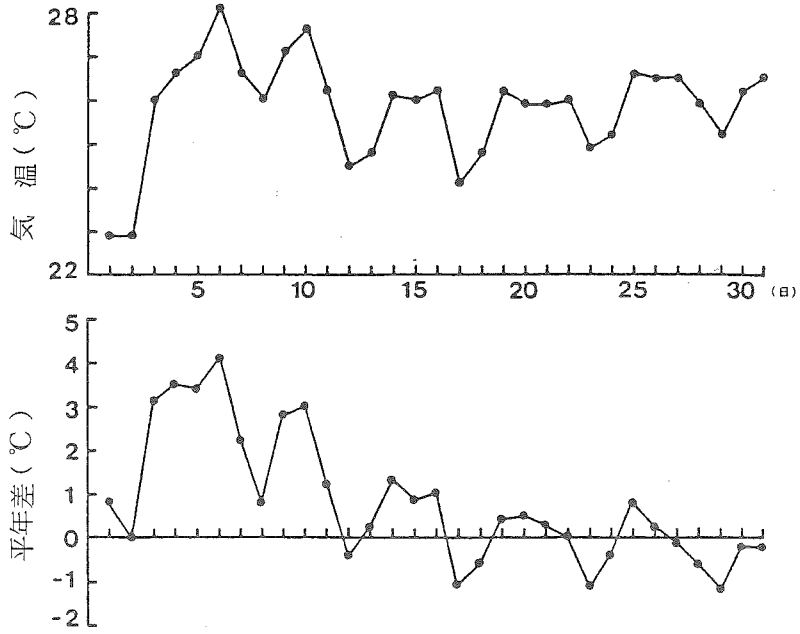


図28 1984年7月の気温と平年(1975-1983年)差の推移
 ※ 潮岬測候所による。

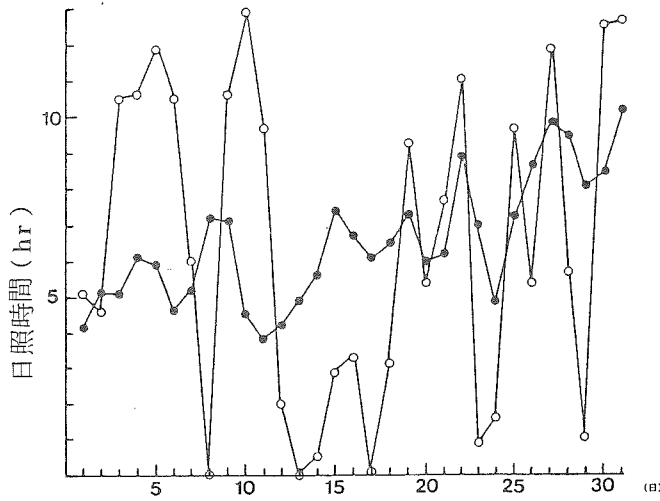


図29 7月の日照時間の推移
 ○: 1984年
 ●: 平年値(1976-1983年)

※ 潮岬測候所による。

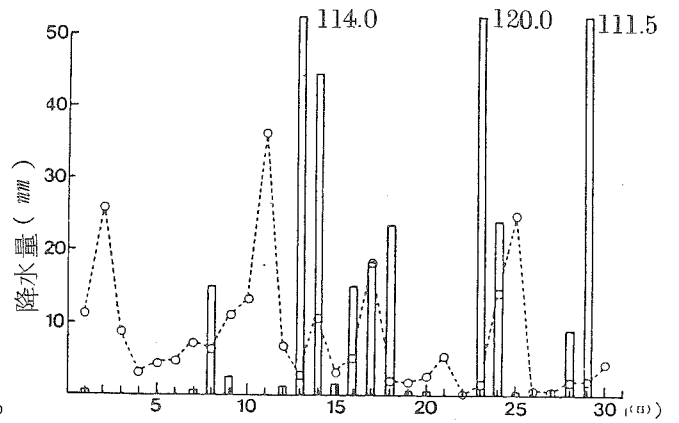


図30 7月の降水量の推移
 □: 1984年
 ○: 平年値(1976-1983年)

※ 潮岬測候所による。

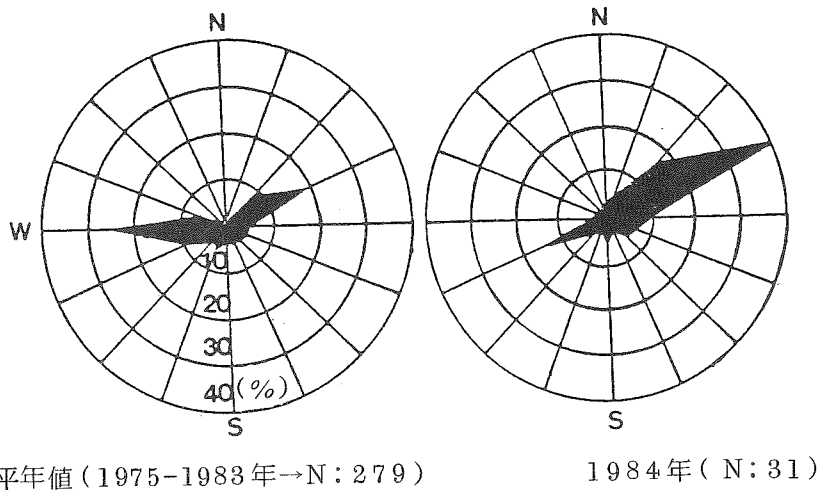


図31 7月の風配図

※ 潮岬測候所による。

平年はWとENE方向の風が20～30%ずつあり、両方向の風が卓越しているが、今年はENE～NE方向の風が非常に卓越していた。これは、太平洋高気圧の北偏と南方海域部にある低圧部の停滞という気圧配置の継続によるものであり、東～北東風が、13日の日本海低気圧通過の1日を除いて、11日から7号台風通過の29日まで連続して吹き続いていた¹⁵⁾。

(2) 海 象

熊野灘南部域の海況は、黒潮の流況に影響されやすい。そこで赤潮発生時の黒潮の状況を把握するため、図32に漁海況速報より求めた6、7月の黒潮の北縁位置(実線)と暖水舌の中心部位置(点線)

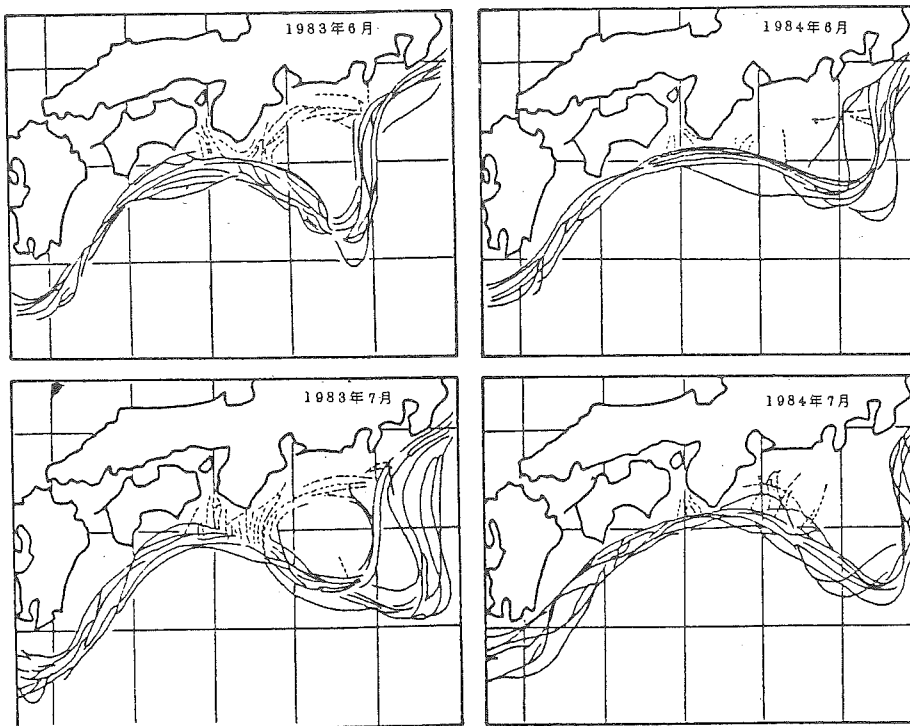


図32 黒潮の北縁位置(実線)と暖水舌の中心部位置(点線)

位置(点線)を示した。なお、ここでは赤潮非発生年である1983年と対比して示している。1984年は北縁位置が潮岬沖10~40マイルにあり、1983年の同時期に比べて非常に接岸傾向にあった。特に、7月上~中旬には10~20マイルにあり、その傾向が著しい。また、暖水舌の中心部位置は、大王埼に向って侵入しており、1983年が、潮岬から北上しているのに比べて、特色のある流況を示していた。これは1980年の赤潮発生時にもみられた流況²⁾であり、赤潮発生時には熊野灘南部域は南下沿岸流の支配下にあったと思われる。

図33は1984年7月9日の熊野灘南部域における水温、塩分と流向・流速の分布を示したものである。潮岬沖には非常に接岸した形で1.8~3.6ノットの西進する強い流れがあり、この水域では水温が26℃以上、塩分が34.0‰以上になっており、黒潮北縁部の状況をとらえたものと思われる。また、熊野灘南部域には、若干、低温、低塩分の0.3~0.8ノットの弱い南下沿岸流がみられた。

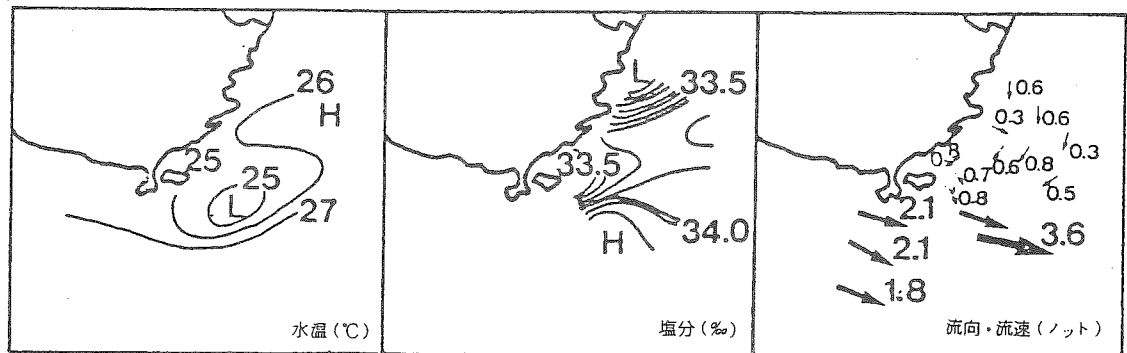


図33 熊野灘南部域の水温、塩分と流向・流速の分布(1984年7月9日調査)

※ 沿岸定線調査結果による。

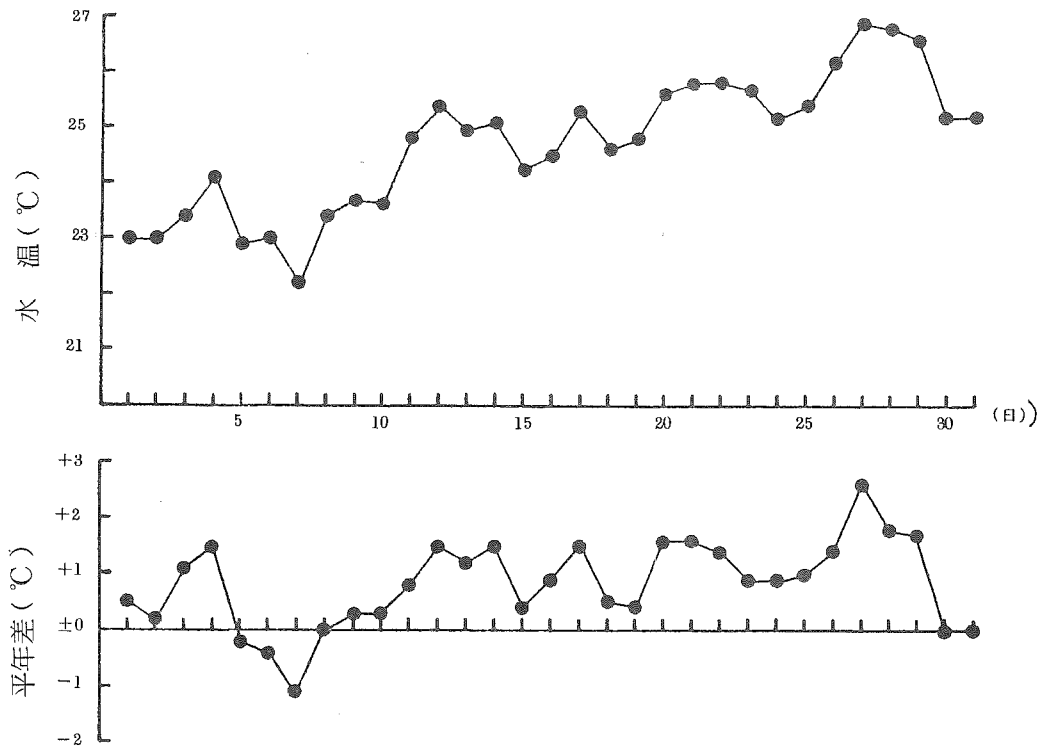


図34 7月の水温と平年(1976 - 1983年)差の推移

※ 定地観測結果(浅海防波堤:図18)による。

更に、赤潮発生時の沿岸部の海況を把握するため、串本浅海漁場防波堤で行っている定地観測結果を用いて以下の検討を行った。まず、図34は7月の水温と平年差の推移を示したものである。水温は22.0～27.0℃の範囲で推移しており、平年に比べてやや高目であった。旬別にみると、上旬は平年差の-1.1℃～+1.4℃の範囲で推移しており、ほぼ平年並であったが、中旬は平年差の+0.3～+1.5℃、また下旬には、平年差の±0～+2.6℃になり、中旬以降は平年よりやや高目に推移していた。

7月の塩分とその平年差の推移を図35に示した。7月前半は2日の塩分低下を除くと、30.0～34.5‰の範囲で推移しており、ほぼ平年並であった。7月15日から30.0‰以下になり、31日までの間に30.0‰以上になることがなかった。この間、平年に比べると、-2.87～-10.13‰で推移しており、かなり低目であった。特に、15、16日、24～26日と30日には25.0‰以下になり、低目傾向が著しい。更に、7月における串本浅海防波堤での潮の出入の推移を図36に示した。ここで「出」潮とは、浅海漁場から裏海水域に向う流れ、「入」潮とは、裏海水域から浅海漁場に向う流れを示したものである。期間中の流向は7月3日、22日、29日を除くとすべて+であり、全般に「出」潮傾向が卓越していた。この「出」潮とは南下沿岸流を示すものであり、前述したように沿岸域では南下流が強勢であった。特に、7月1、2日と12～20日、26、28日、更に30、31日には+3になっており、その傾向が著しい。また、平年に比べても1～2ランク「出」潮傾向が強勢であった。

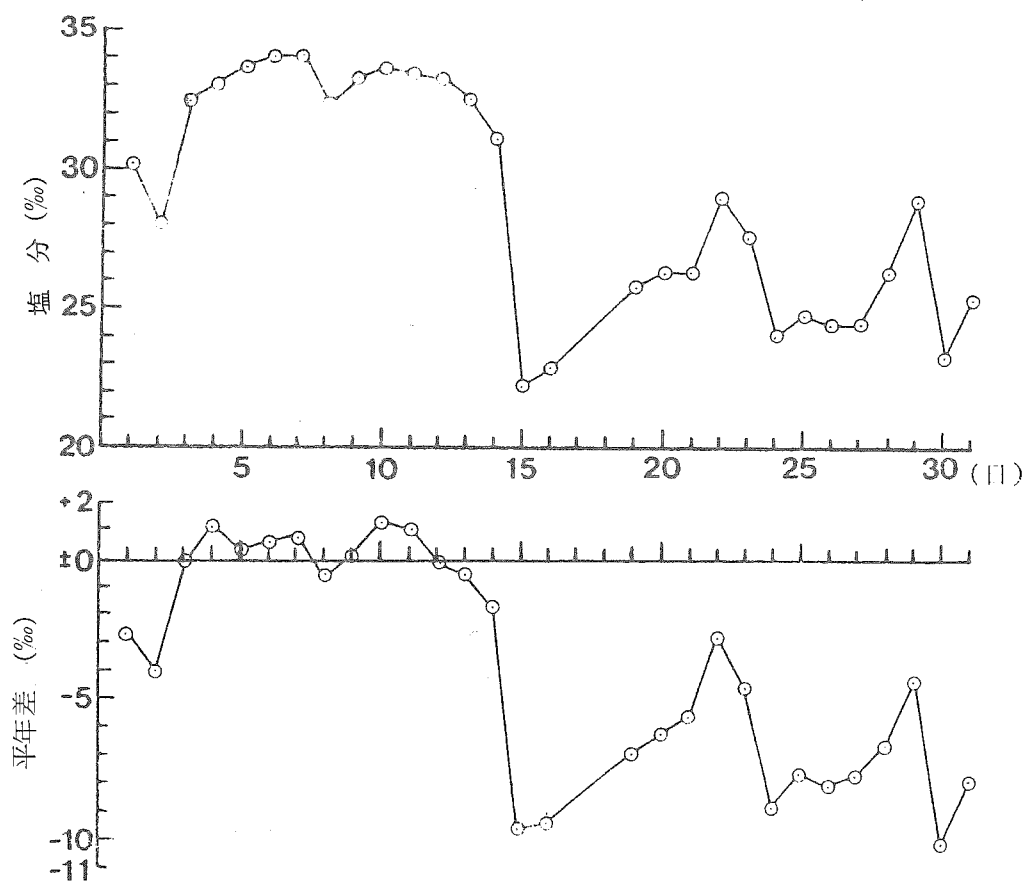


図35 7月の塩分と平年差(1976-1983年)の推移

※ 串本浅海防波堤で行っている定地観測結果による。

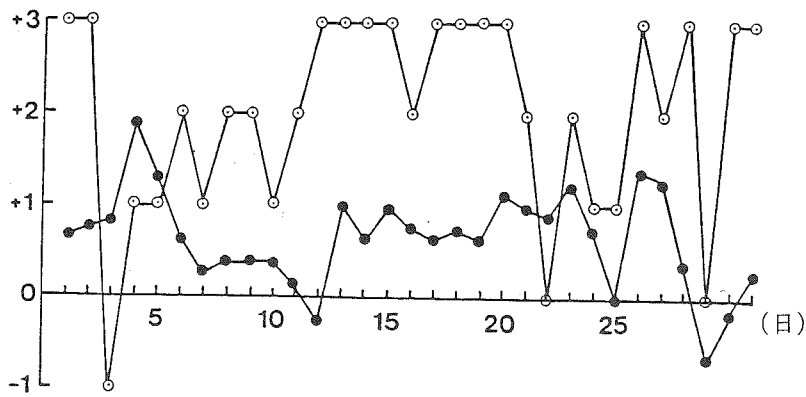


図36 7月の潮の出入の推移

※ 串本浅海防波堤で行っている定地観測結果による。

+ : 出潮、- : 入潮 3 : 強、2 : 中、1 : 弱

○ : 1984

● : 平年値(1976-1983年)

3. 赤潮末期における各種プランクトンの消長

7月中旬の赤潮最盛期には原因プランクトンである *G. nagasakiense* がほぼ純粋状態であった。しかし、赤潮末期の7月下旬頃には、サンプル中に *G. nagasakiense* とともに他のプランクトンの出現が目立ちはじめた。

そこで、*G. nagasakiense* とともに、目立って出現してきた数種のプランクトンについても計数してきた。ここでは、その結果をとりまとめ、赤潮末期におけるプランクトンの遷移状況を究明する。

方 法

調査定点は串本～大島周辺水域(図18)と、浦神湾(図13)であり、*G. nagasakiense* 計数用に採取した表面水をサンプルとして用いた。検鏡は生海水 1 ml について行い、その中の *G. nagasakiense*、*Gyrodinium fissum*、*Gyrodinium sp.*、*Polykricos kofoidii*、と *Skeletonema costatum* の5種類について計数した。ただ、ここでは目立ちはじめたプランクトンを計数していくということではじめたため、検鏡開始時から5種類全部を同時に計数したのではなく、開始当初は *G. nagasakiense* と目立ちはじめた1種から行い、徐々にプランクトンの移りかわりとともに対象種を増していった。

結 果

浦神湾での調査結果を図37に示した。赤潮原因プランクトンである *G. nagasakiense* は、7月26日頃をピークに徐々に減少しはじめ、7月30日頃からは赤潮としての着色現象が湾内から消えた。このような状況の中で、まず *Gyrodinium fissum* が出現してきた。すなわち、

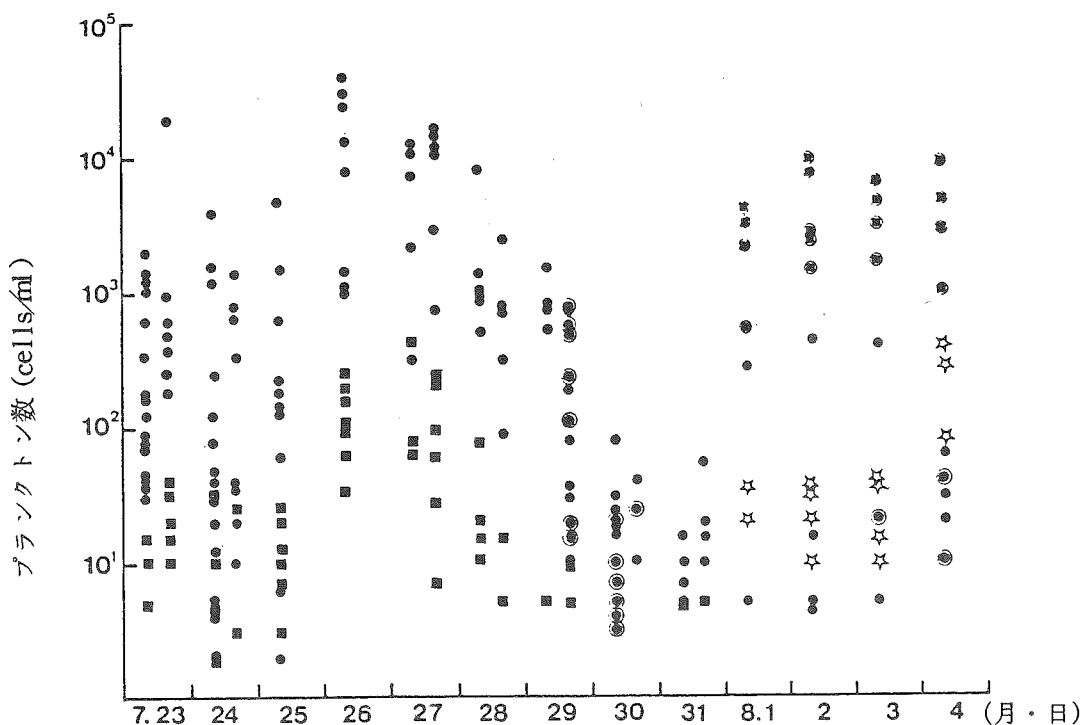


図37 浦神湾における赤潮末期のプランクトン相の遷移状況

● : *G. nagasakiense* ■ : *Gyrodinium fissum* ⊙ : *Polykricos kofoidii*
 ☆ : *Gyrodinium sp.* ⊙ : *Skeletonema costatum*

7月23日には $10 \sim 10^2$ cells/ml の範囲で出現していた。それが徐々に増加しはじめ、26、27日には 10^2 cells/ml を越えて、最も多くなってきた。28日頃から減少しはじめ、29日には10 cells/ml 以下の密度になった。ところが29日には *Polykricos kofoidii* が 10^2 cells/ml 以上の密度で出現し、サンプル中で非常に目立っていた。30日には若干減少し、31日には両種ともほとんど検出できなくなった。8月1日頃からは、*Skeletonema costatum* が 10^3 cells/ml を越え、非常に高密度になってきた。また、*Skeletonema costatum* の出現と同時に、*Gyrodinium sp.* が $10 \sim 10^2$ cells/ml の範囲で混在して出現するようになった。

次に、串本～大島周辺水域における5種のプランクトンの推移を図38に示した。ここでも、図19に示した赤潮の第2期には、*G. nagasakiense* がほぼ純粋状態であり、サンプル中で他のプランクトンを検出することがほとんどなかった。ところが、第3期になると、数種のプランクトンが目立って出現するようになってきた。まず、*Gyrodinium fissum* が7月24日頃から徐々に増加してきた。そして、26日から28日頃には浅海第1漁場の奥を中心に 10^3 cells/ml 以上の密度になり海水が乳白色に着色し、*Gyrodinium fissum* の赤潮になった。28日頃から急速に減少しだし、30日には10 cells/ml 以下の密度になっていた。30日と31日には大型のプランクトンである *Polykricos kofoidii* が 10^2 cells/ml 以上の密度にもなり、サンプル中で非常に目立っていた。8月1日頃からは、*Skeletonema costatum* が 10^3 、 10^4 cells/ml のオーダーで出現するようになり、優占種になった。そして、本種は *G. nagasaki-*

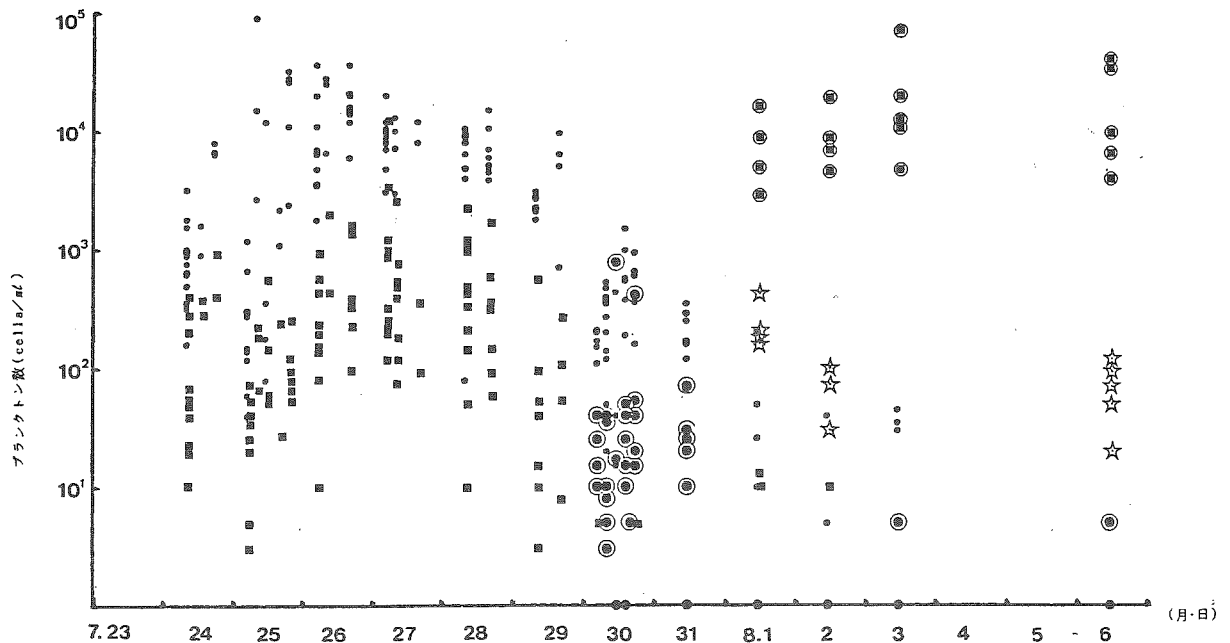


図38 串本～大島周辺水域における赤潮末期のプランクトン相の遷移状況

●: *G. nagasakiense* ■: *Gyrodinium fissum* ⊙: *Polykricos kofoidii*
 ☆: *Gyrodinium sp.* ⊖: *Skeletonema costatum*

ense の消滅する8月6日までこの状態で継続していた。また、この間 *Skeletonema costatum* とともに *Gyrodinium sp.* も 10^2 cells/ml 前後の密度で出現していた。

このように、*G. nagasakiense* 赤潮の末期には両水域ともプランクトン相が非常に似かよって推移していた。すなわち、「*Gyrodinium fissum* → *Polykricos kofoidii* → *Skeletonema costatum*」という様式が得られた。高山ら¹⁶⁾は広島湾で *G. nagasakiense* 赤潮の消滅時に *Gyrodinium fissum* が急増し、一夜にして *G. nagasakiense* が消滅する現象を観察している。また、1980年の熊野灘南部域での *G. nagasakiense* 赤潮の消滅期にも *Gyrodinium spp.* の増加と、更に、珪藻群への移りかわりが観察されており²⁾、ここでの結果とはほぼ一致している。また、*Gyrodinium fissum* が *G. nagasakiense* を捕食する関係にあることも報告されている¹⁷⁾が、ここでも *G. fissum* が *G. nagasakiense* を体内に取りこんでいる像が数多く観察されている。*G. fissum* が赤潮2期目に出現せず、7月下旬からの3期に入って出現しはじめた理由はわからないが、*G. fissum* の出現が、*G. nagasakiense* の消滅に重要な役割をはたしていることは明白であり、更に、*G. fissum* の出現が *G. nagasakiense* 赤潮の消滅を予知する生物学的な因子として利用できるのではないだろうか。また、最終的には *Skeletonema costatum* を中心とする珪藻群にプランクトン相が移りかわり *G. nagasakiense* の赤潮が完全に消滅していったものと考えられる。

4. 赤潮末期における内湾域での貧酸素化現象

7月下旬の赤潮末期に湾奥部の表層を中心に貧酸素化が起り、多くの魚貝類に被害を及ぼした。

ここでは貧酸素化現象について取りまとめた。

方 法

調査定点と採水層は特に定めていないが、串本浅海第1漁場内で1日1~数回 *G. nagasakiense* 計数用の採水時に酸素固定を同時に行い、ウィンクラー法でDOを測定した。

結果 および 考察

串本浅海第1漁場 (St. 2B) でのDOの垂直移動分布を図39に示した。赤潮2期に当たる7月16日から21日頃までは濃密な赤潮を反映して、表面から4~7m層付近までDOが 6 ml/l 以上あり、過飽和状態であった。ところが7月22日には表面から4m付近まで 1 ml/l 以下、また、6m付近までが 3 ml/l 以下になり、表層付近を中心に急激に貧酸素状態になった。7月23、24日にはDOが表面から底層まで $3\sim 4\text{ ml/l}$ になり、若干回復してきたが、25日頃から再び表層付近でDOが 3 ml/l 以下になり、貧酸素化が発達してきた。そして、28日には表面から2m層付近までDOが 1 ml/l 以下になった。

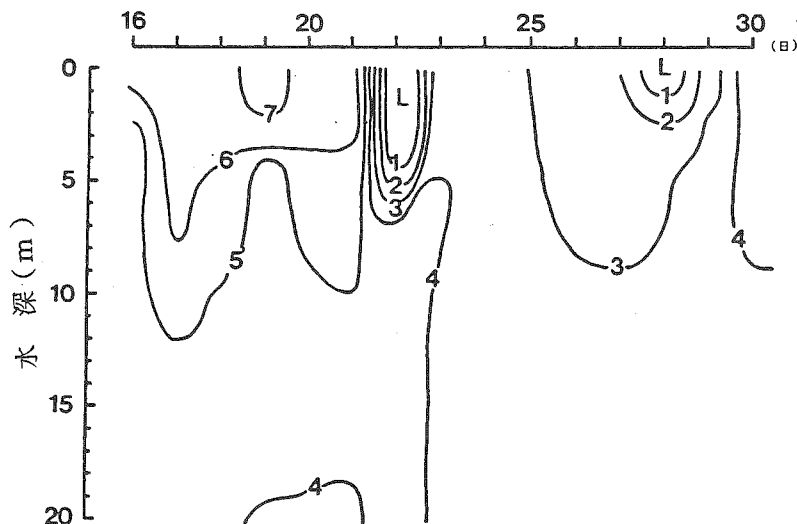


図39 串本浅海第1漁場 (St. 2B) でのDO (ml/l) の垂直移動分布

このように7月22日と28日に表層部ではほぼ無酸素状態になっていたが、この時の串本浅海第1漁場でのDOの水平分布を図40に示した。調査は串本浅海第1漁場内の1~数定点を実施するというまばらなものであったため等値線を引けない場合はDOの数値をそのままプロットした。まず、7月22日、10:00~11:00には表面が 0.23 と 0.29 ml/l 、また、5m層でも 1.33 ml/l の所があり、漁場の奥を中心にかなり広範囲に貧酸素状態になっていた。13:00~14:00には表面では漁場の奥でDOが 1 ml/l 以下であったが、外側では 4 ml/l 以上あり、飽和~過飽和状態になっていた。5m層ではDOが 2 ml/l 以上の値になり、午前中よりは若干、回復していた。7月28日には、午後2回の調査とも表面では 1.0 ml/l 以下の所が局部的にみら

れたが、5 m層では2.0~5.0 ml/lあり、22日に比べると貧酸素化は若干小規模なものであった。このように、串本浅海第1漁場では、貧酸素化が漁場の奥で局部的に形成されていた。しかし、森浦湾や太地湾では7月25、26日頃湾奥部を中心に大規模に貧酸素状態になり、大量の魚貝類を斃死させている。また、浦神湾でも湾奥部で貧酸素化現象が起っていたということである。

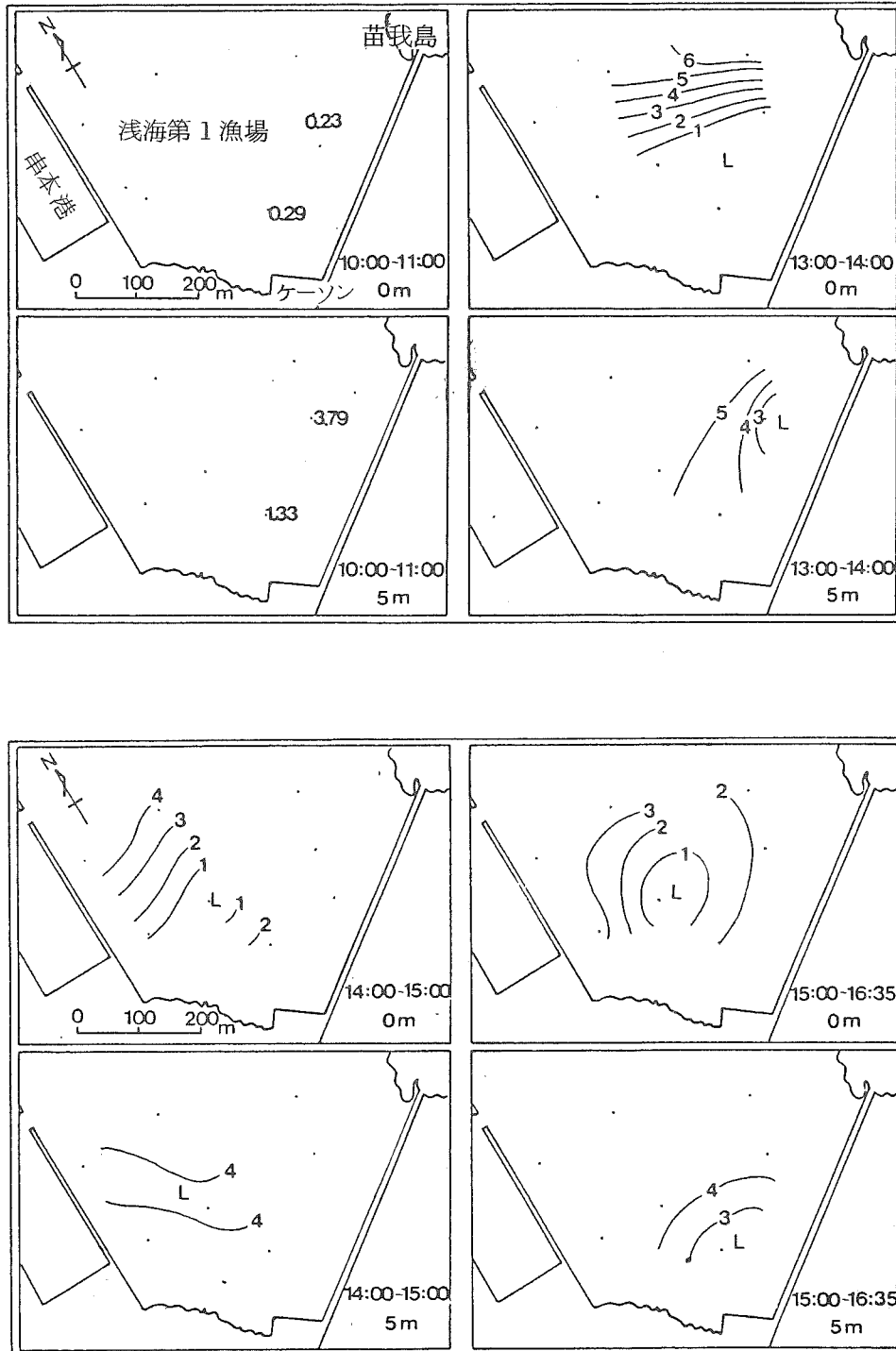


図40 串本浅海第1漁場におけるDO (ml/l) の分布
上段：7月22日、下段：7月28日

夏季、富栄養化した内湾域で赤潮が発生した場合、表層が過飽和になり逆に底層が貧～無酸素状態になっていることはよく観察されることである¹⁸⁻²⁰⁾。しかし、赤潮の末期にこのような形で大規模に表層で貧酸素化するという例はあまりみられない。そこで、貧酸素化の起った22日と28日の状況を整理すると次のようになる。まず、22日は赤潮2期の *G. nagasakiense* が減少しはじめた時であり、28日も3期のピークから *G. nagasakiense* の減少しはじめた時にあたる。22日の午前中には、サンプル中の *G. nagasakiense* が6割以上運動性を失って停止し、細胞が収縮し、球形化していた。これは細胞が死ぬ直前にあったものと思われるが、この変形した細胞が23日と27日～29日のサンプル中でよく観察された。この変形細胞の出現時期はいずれも赤潮2、3期のピークから減少し始める時期に当ており、貧酸素化の起った時期と一致している。また、貧酸素化した水域では“野菜のくさったような、いわゆる「青くさい」”といった異臭がただよっていた。これらのことから貧酸素化現象は濃密になりすぎた *G. nagasakiense* が急激に死亡、分解したことによる酸素の消費により引き起こされたものと思われる。図36に示した潮の出入状況を見ると7月中強い出潮が続いている中で22日は±0になり、潮の流れが止っている。また、28日は+3であったが29日には±0になっている、いわゆる、*G. nagasakiense* のピーク時に一時的に潮の停滞の起ったことが *G. nagasakiense* への栄養塩の豊富な海水の補給を止め、さらには、自己破壊物質の除去ということを阻害するようになり、その結果、*G. nagasakiense* は自己破壊を引きおこし、更に水域の貧酸素化現象を引き起すことにつながっていたものと推察される。潮の流れが翌日から再び活発になっているが、このことが貧酸素化現象の長期化を止め、また、赤潮3期につながっていったものと思われる。貧酸素化現象が串本浅海第1漁場でも周辺部でおこらず、潮の最も停滞しやすい奥部で起っていることから、今回の *G. nagasakiense* の大量死から貧酸素化につながる一連の現象が、潮の停滞により引き起こされたという推論を証明するものとなる。

5. *Gymnodinium nagasakiense* 赤潮と漁業被害

赤潮プランクトンの中には魚貝類に被害を及ぼすものと、あまり被害を及ぼさないものがある。このうち、*Chattonella* 赤潮は魚類に被害を及ぼすものとして最も恐れられている。そして、*Chattonella* 赤潮と魚類の因果関係については詳細に報告されている^{21,22)}。

また、*G. nagasakiense* 赤潮も魚類に被害を及ぼすことが知られ、因果関係については吉松²³⁾により報告されている。しかし、今回の *G. nagasakiense* 赤潮ではあまりにも大規模であったことや、*G. nagasakiense* 自体が田辺湾等で発生するものに比べて、殺傷力が強かったと思われることもあり、魚貝類に多大の被害を及ぼした。そこで、赤潮発生時における魚貝類の斃死状況と魚貝類の *G. nagasakiense* 海水中の飼育実験を行ったので取りまとめる。

方 法

魚貝類の斃死状況は漁協及び養殖業者からの聞き取りによる。また、陸上水槽のアワビ類とナガレコノ斃死状況については県栽培漁業センターの資料を用いて取りまとめた。飼育試験については以

下の方法で行った。

(1) ブリ稚魚(モジャコ)及びマダイ稚魚の飼育実験

1) 飼育試験場所

串本港(図41)

2) 飼育試験の方法

① 試験-I

試験区は表3に示すとおりである。ここでは、*G. nagasakiense* の密度差のある自然海水中での *G. nagasakiense* と両魚種との関係を検討した。供試魚はチョウチンカゴ(直径80cm×高さ90cmの円柱状のカゴ、1m層に垂下)に入れて飼育し、追跡調査を行った。

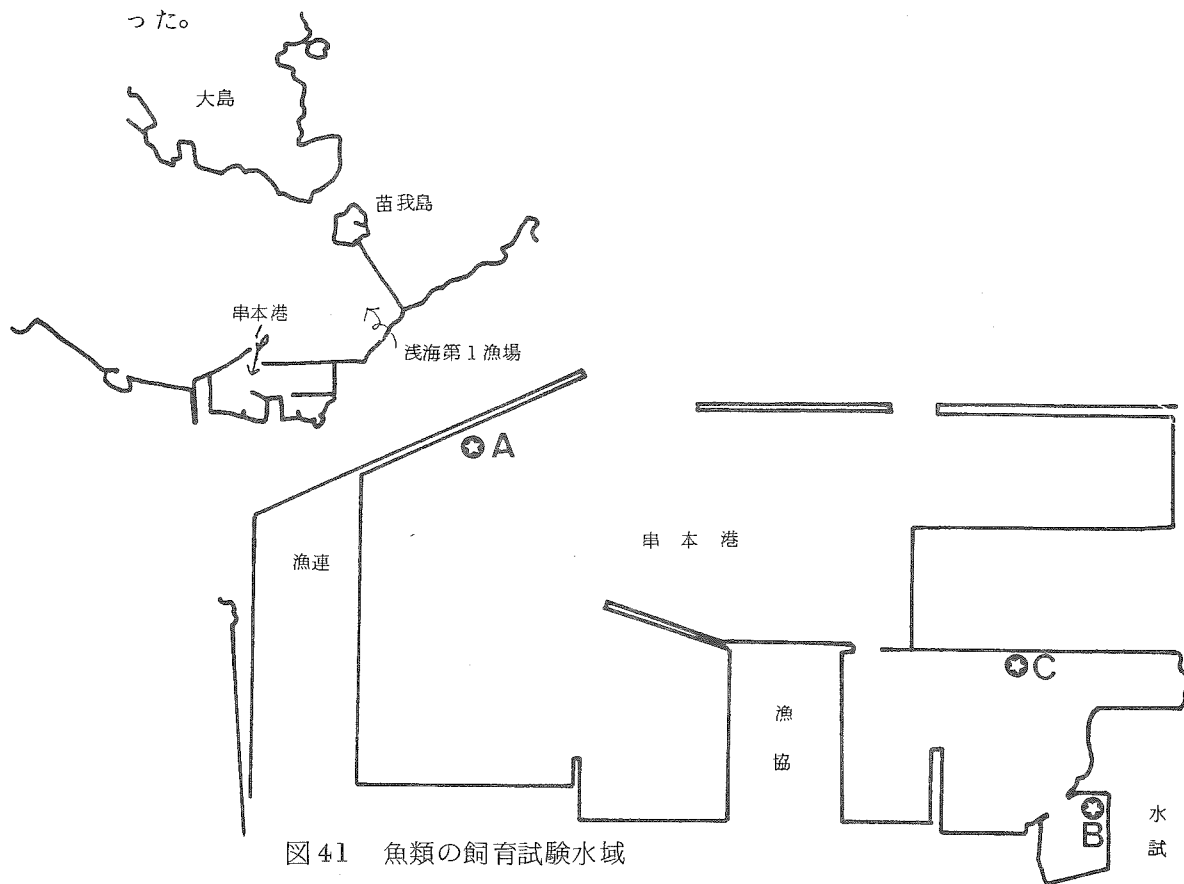


図41 魚類の飼育試験水域

表3 魚類飼育試験-Iの設定条件

試験区	試験水域	供試魚の由来	供試魚	投餌の有無	試験期間
1	A	大島漁場飼育魚 (赤潮の影響有)	マダイ稚魚 ブリ稚魚(モジャコ)各50尾	無	7月12-17日
2	B	〃	〃	無	〃
3	B	〃	〃	有	〃

② 試験－Ⅱ

試験区は表4に示すとおりであり、飼育と追跡調査は試験Ⅰと同様に行った。なお、ここでは魚側の要因として、すでに赤潮水中で飼育されている魚と赤潮のない海中で飼育されている魚の反応を比較した。

3) 追跡調査の方法

試験開始当初の7月12、13日には、1～2時間おきに、また、その後は1日1～2回の割合で観察を行った。斃死魚の確認は、チョウチンカゴを上げて行うとともに、そのつど、斃死魚を取り除いた。また、この時、G. nagasakiense の計数と、水温、塩分、更にDOの観測を行った。

(2) 貝類（トコブシ、メガイ、ヒオウギ、バイ）の飼育実験

試験はⅠ（表5）、Ⅱ（表6）、Ⅲ（表7）にわけて行った。実験Ⅰは、G. nagasakiense の密度差のある海中でのメガイ、トコブシの斃死状況。実験Ⅱでは実験Ⅰの追試とともに、赤潮海水をろ過した区や G. nagasakiense を超音波で破壊した試験区を用い、斃死状況を観察した。また、実験Ⅲでは、ヒオウギとバイを用いて実験Ⅰと同様な目的で実施した。飼育水は串本町周辺水域で採取した各密度の G. nagasakiense 赤潮水であり、ただちに実験室（恒温室）にもちかえり、試験に供した。供試貝類は県栽培漁業センターで飼育中のトコブシ、メガイ、ヒオウギとバイの各種貝である。飼育容器としては1ℓビーカーを用い、これに一定数の貝類を収容して行った。飼育水温は20.0±1.0℃であり、観察は30分～1時間おきに行った。

表4 魚類飼育試験－Ⅱの設定条件

試験区	試験水域	供試魚の由来	供 試 魚	投餌の有無	試 験 期 間
1	A	大島漁場飼育魚 (赤潮の影響有)	マダイ稚魚 モジャコ 各50尾	無	7月13-17日
	C	〃	〃	〃	〃
2	A	袋漁場飼育魚 (赤潮の影響無)	〃	〃	〃
	C	〃	〃	〃	〃

結果および考察

(1) 魚貝類の被害状況

養殖魚貝類の被害状況を表8に示した。被害総額は斃死魚貝類と販売損を含めて、約28億円であり、1974年の播磨灘での Chattenella 赤潮につづく史上2番目のものであった。被害生物はマダイ、ハマチを中心にこの水域での養殖生物全種に及んでいる。一般に赤潮に対しては強い魚、弱い魚といった区分もされているが、今回の赤潮があまりにも大規模であったため、

表5 貝類飼育試験-Iの設定条件(7月5日14:40~7月6日19:00実施)

条件	実験区	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
使用海水の起源		生海水	Aを口過	生海水	Cを口過	生海水	Eを口過	生海水	Gを口過	生海水	Iを口過
採取場所		串本港	同左	浅海第1漁場	同左	浅海第1漁場	同左	出雲漁港	同左	田並漁港	同左
実験開始時	G. nagasakiense (cells/ml)	28000	0	5500	0	450	0	175	0	0	0
実験終了時	G. nagasakiense (cells/ml)	54600	29	3500	5	500	0	390	0	0	0
	塩分 (%)	34.863	34.688	34.627	34.475	35.044	34.888	35.174	34.913	34.640	34.584
供試貝	トコブシ (個)	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	メガイ (個)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

表6 貝類飼育試験-Ⅱの設定条件(7月9日13:30~7月10日16:00実施)

条 件	実 験 区									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
使用海水の起源	海水	Aの海水を超音波洗浄器で処理して細胞を全て破壊	Aの海水を2.4ℓ/minでパッキ	Aの海水を8000 cells/mlになるようにJで希釈	Dの海水を2.4ℓ/minでパッキ	Aの海水を4000 cells/mlになるようにJで希釈	Aの海水を1000 cells/mlになるようにJで希釈	Aの海水を500 cells/mlになるようにJで希釈	Aの海水を200 cells/mlになるようにJで希釈	海水
採 取 場 所	串本港	同 左	同 左	串本港 田並漁港	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	田並漁港
実 験 終 了 時	G. nagasakiense (cells/ml)	12500	12500	8000	8000	4000	1000	500	200	0
	G. nagasakiense (cells/ml)	24000	-	22900	17300	8400	940	490	180	0
	塩 分 (%)	31.676	31.995	34.009	32.561	33.332	34.606	34.705	34.781	34.872
	溶 存 酸 素 量 (ml/ℓ)	3.63	1.84	4.70	3.89	4.76	3.97	3.33	3.43	2.37
供 試 貝	トコブシ (個)	5	5	5	5	5	5	0	4	5
	メガイ (個)	0	0	0	0	5	0	5	0	0

表7 貝類飼育試験-Ⅲの設定条件(7月14日13:30~7月15日17:00実施)

条件	実験区									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
使用海水の起源	生海水	Aの海水を2.4ℓ/minでバッキ	Aの海水を8000 cells/mlになるようにJで希釈	2.4ℓ/minでバッキ	Aの海水を4000 cells/mlになるようにJで希釈	Eを2.4ℓ/minでバッキ	Aの海水を1000 cells/mlになるようにJで希釈	Aの海水を500 cells/mlになるようにJで希釈	Aの海水を200 cells/mlになるようにJで希釈	生海水
採取場所	串本港	串本港 田並漁港	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	田並漁港
実験開始時	17500	17500	8000	8000	4000	4000	1000	500	200	0
実験終了時	32000	36500	17300	14100	12600	7700	1100	540	89	0
供試員	塩 (%)	28.161	31.467	31.851	32.896	32.796	33.827	34.059	34.167	34.295
	バ (個)	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	ヒ (個)	3	3	3	3	3	3	3	3	3

表 8 赤潮による養殖魚貝類の被害状況

発生時期	発生海域	発生場所	漁業種類	被害内容	被害量	被害金額	プランクトン	備考	
7月2日～ 8月10日	熊野灘	熊野灘 沿岸一帯域	養殖	ハマチ	171,120尾	294,635両	G. naga- sakiense	へい死	
				カンパチ	351	1,674			
				マダイ	407,827	522,342			
				シマアジ	14,907	44,390			
				マグロ	20	2,400			
				マダイ仔魚	2,300,000	391,000			
				その他の魚類	1,084,401	256,175			
				魚類計	3,978,626	1,512,616			
				ヒオウギ	3,095,500個	103,185両			販売損
				アコヤガイ	6,624,000	916,850			
				貝類計	9,719,500	1,020,035			
				ハマチ	54,087尾	52,629両			
				カンパチ	1,503	3,094			
				マダイ	94,705	145,383			
				シマアジ	3,476	11,657			
マグロ	887	46,670							
その他の魚類	75,867	8,397							
計	230,525	267,830							
合計 魚類	4,209,151尾	1,780,446両	2,800,481 千円						
合計 貝類	9,719,500個	1,020,035両							

※ 赤潮緊急対策本部の調査による。

被害が養殖生物全種に及んだもので、累積値としてこのような被害状況になったものと思われる。この中で、マダイの被害量が非常に多くなっているが、これは熊野灘水域で養殖尾数の最も多い串本浅海漁場での被害を反映した値である。ここでは養殖魚の大半がマダイであったため、このような結果になったもので、マダイと他魚種との G. nagasakiense に対する因果関係を表わした数値ではないと思われる。また、マダイ仔魚230万尾の斃死は、大島の業者が種苗生産し、陸上水槽で飼育中のフ化仔魚である。ヒオウギ、アコヤガイが972万個斃死しているが、これは大半が森浦湾のものであり、赤潮末期の貧酸素化現象により、斃死したものと考えられている。販売損というのは、緊急出荷にともなう価格の低下等により引きおこされた損害額を試算した数

値である。

ここでは、養殖魚貝類の被害だけを取りまとめているが赤潮時の漁業被害としては蓄養中の魚貝類や熊野灘沿岸域での天然魚貝類にも及んでいる。特に、*G. nagasakiense* 赤潮では、1980年の場合にもみられたが²⁾、アワビ、トコブシが非常に弱いように思われ、熊野灘南部域ではこれらの被害がかなり大量に及んでいるようである。そこで、天然のアワビ、トコブシに対する被害状況について赤潮消滅後に漁場診断調査ということで調査を行っているが、その詳細は金丸・金盛²⁴⁾により報告されている。また、天然魚貝類の被害量は不明であるが、被害生物としては無酸素化に伴うものも含めると、イサキ、ウツボ、ウナギ、ネンブツダイ、ボラ、メジナ、磯魚等の魚類、アワビ、トコブシ、イセエビ、巻貝類等、非常に多岐に及んでいた。

表9は、赤潮発生時にみられた魚貝類の異常現象を取りまとめたものである。このうち、№1、2、5については1980年の *Gymnodinium* 赤潮時²⁾にも観察されている。また、赤潮発生時、定置網に通常は入らない魚が大量に入る現象はよく見られることである²⁵⁾。このこの№4の定置網でも通常はこのように磯魚が大量に入ることはないということであり、またネンブツダイについては赤潮という刺激に対する集団としての狂乱行動を示したものと見えよう。更に、№1、5から、ここでの *G. nagasakiense* が非常に急性で、しかも、殺傷力の強いものであることを示唆している。

表9 赤潮時における魚貝類の異常現象

№	事	例
1	浦神沖のイサキ釣りでは生間(カンコ)のイサキが死んだ。また、魚が釣り上ってくる途中で死んでいた。	
2	天然アワビが汀線上にはい上ってくる。…佐野湾、浦神湾周辺、下田原等	
3	天然のサザエが穴からはい出してきている。…勝浦周辺	
4	定置網に大量の磯魚が入った。特にネンブツダイが多く、7月5日には500kg、7月6日には200kg入っていた。…大島	
5	タコツボの中でタコが死んでいた。…浦神湾	

赤潮プランクトンの密度と魚貝類の関係をj知ることjは赤潮被害の軽減をj図る上に非常に重要なことである。そこで、今回得られた結果からこれらの点について若干検討する。まず、図42は各内湾域における *G. nagasakiense* の推移と養殖魚類の斃死事故発生日を示したものである。まず、7月3日の裏海水域や串本～大島水域のように *G. nagasakiense* が水域平均値で100～260 cells/ml (Max 2,800 cells/ml) の赤潮の初期段階に魚が斃死している。斃死魚は裏海水域がカンパチとシマアジ、串本～大島水域がマグロ(7～8kg、20～30kg)であった。次に、7月5日に浦神湾でカンパチ、また、7月7日に裏海(須江漁場)水域で、ハマチとマダ

イが斃死した。この時、浦神湾では *G. nagasakiense* が水域平均値で 1.1×10^3 cells/ml (Max 1.6×10^4 cells/ml)、また裏海水域では水域平均値で 1.2×10^3 cells/ml (Max 7.8×10^3 cells/ml) になっていた。この密度はその後の *G. nagasakiense* の推移に比べると両水域とも特に濃いものでなく、赤潮の初期段階とっていい頃である。裏海水域ではその後のピーク時にも全く魚を殺していない。また、浦神湾でも、7月25日を除くと、ほとんど魚を殺していない。魚を斃死させた業者の所属する漁協等からの聞き取りによると浦神湾では、生簀を移動させたということであり、また、裏海水域では移動させるとともに投餌したということ

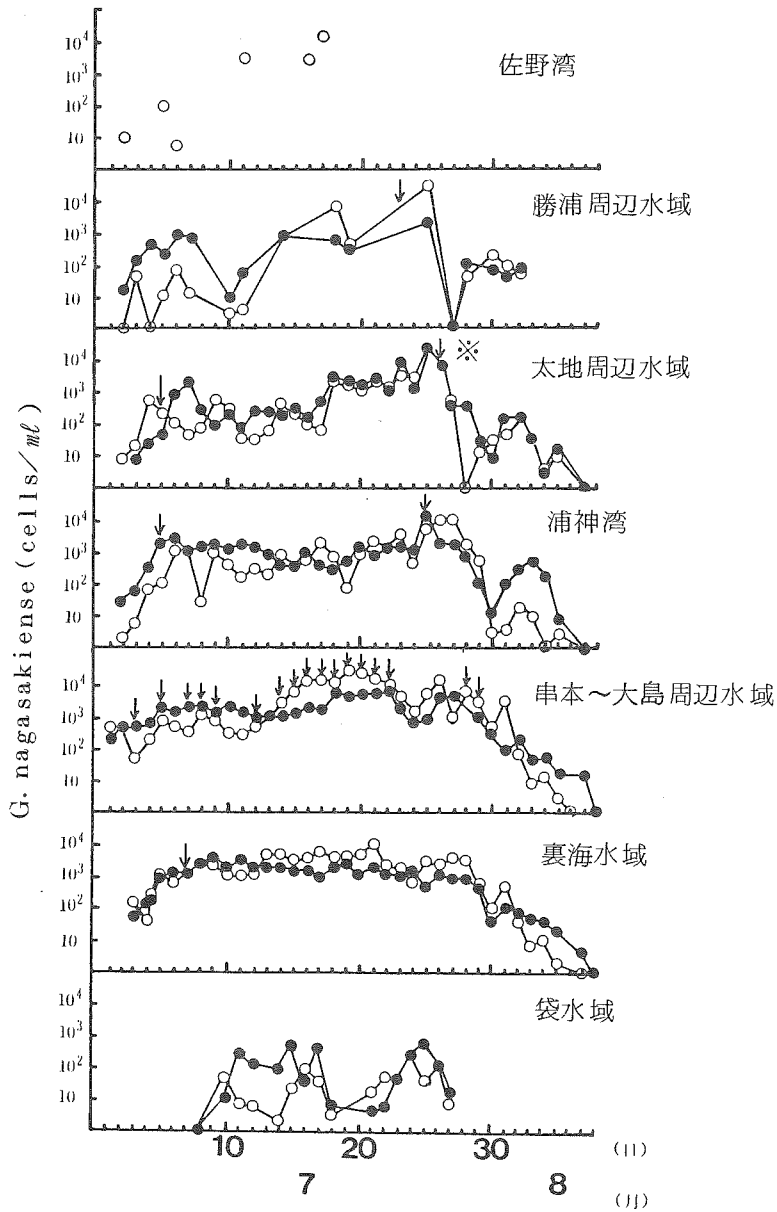


図 42 内湾域における *G. nagasakiense* の推移と魚貝類の斃死状況

○: 表面水 ●: 5 m 層

矢印は魚類の斃死した日を示す。また※印は貧酸素水による貝類 (アコヤガイ、ヒオウギ) の大量斃死日である。

ある。両業者の対応で生簀を移動するということが、共通点となっており、また、投餌を行っている業者もある。これらはすべて魚にかなりの刺激を与えるものであり、この刺激が魚を死に至らしめたものと思われる。赤潮の初期段階では *G. nagasakiense* が 10^3 cells/ml 前後の密度の時でも魚に刺激を与えることにより、魚を斃死させるようであり、安静に保つことが必要である。

また、今回の赤潮では、図42にみられるように串本～大島水域が漁業被害が最も大きくなり、連日のように斃死が起っている。しかし、詳細に検討すると、*G. nagasakiense* の平均密度が 2.0×10^3 cells/ml 以下で推移していた赤潮1期には魚類の斃死のみられない日もあり、また、被害量も少ないものであった。この時には、すべての業者が餌止めをし、魚を安静に保っていた。このような中で被害が出たのは図19や20-1にみられるように部分的に形成されていたパッチ状の濃密群(推定 10^4 cells/ml 以上の密度)の直撃を受けたことが斃死の原因になっているように思われる。しかし、赤潮2期になると水域全体で *G. nagasakiense* が 10^4 cells/ml を越え、また、垂直的には、図22、23にみられるように表面から5～10m層まで 10^4 cells/ml を越えて非常に濃密になっていたことが、魚類の斃死が連日、しかも大量に起った原因と考えられる。

県栽培漁業センター陸上水槽での *G. nagasakiense* の推移と貝類の斃死状況を図43に示した。ここでは *G. nagasakiense* は2回のピークをもって推移していた。すなわち、1回目が7月上旬であり、この時は、約 2.0×10^2 cells/ml 程度の密度であった。7月6日から11日まで欠測しているが、これは斃死数が激減したためであり、このことから、この間には水槽内の *G. nagasakiense* は少なくなっていたものと思われる。7月12日には $120 \sim 140$ cells/ml あり、その後は増加しだし、7月20日から23日頃に2回目のピークを示し、 10^3 cells/ml を越えるようになった。トコブシについては成貝が、1回目のピークの終了する7月5日には87.3%が残っていた。しかし、稚貝は35,000個からこの時点で25,700個が斃死し、26.6%の生存率となった。また、2回目のピークの終了する7月26日には成貝の生存率が83.5%であるのに対して、稚貝では14.3%となり期間中に30,000個が斃死した。アワビ類についてみると、成貝では7月26日にクロ83.5%(400個中66個斃死)、メガイ86.7%(60個中8個斃死)、また、マダカでは、93.3%(60個中4個斃死)の生残率になっていた。稚貝についてみると、7月5日にはクロが70.0%、メガイが91.9%、また、マダカでは72.0%の生残率となり、クロ、マダカではこの時点でかなりの斃死がみられた。7月26日にはクロが16.0%(10万個中8.4万個斃死)、メガイが77.2%(18万個中3.1万個斃死)、マダカでは28.0%(2.5万個中1.8万個斃死)の生残率となり、クロが最も弱く、マダカが続き、メガイは赤潮に対して比較的強いようである。ここでの結果を整理すると、①稚貝は成貝に比べて非常に弱い。②トコブシはアワビ類に比べて弱い。特にトコブシ稚貝では $100 \sim 200$ cells/ml の密度で大半が斃死する。③アワビ類ではクロ、マダカが弱い。特に稚貝では $100 \sim 200$ cells/ml で死にはじめ、 $5,000$ cells/ml までで大半が斃死する。しかし、ここでは *G. nagasakiense* の計数を注水口1点で行ったものであり、各水槽で個々に行ったものでない。水槽ごとに若干の *G. nagasakiense* の密度差のあることは十分に考えられ、その差がこのよ

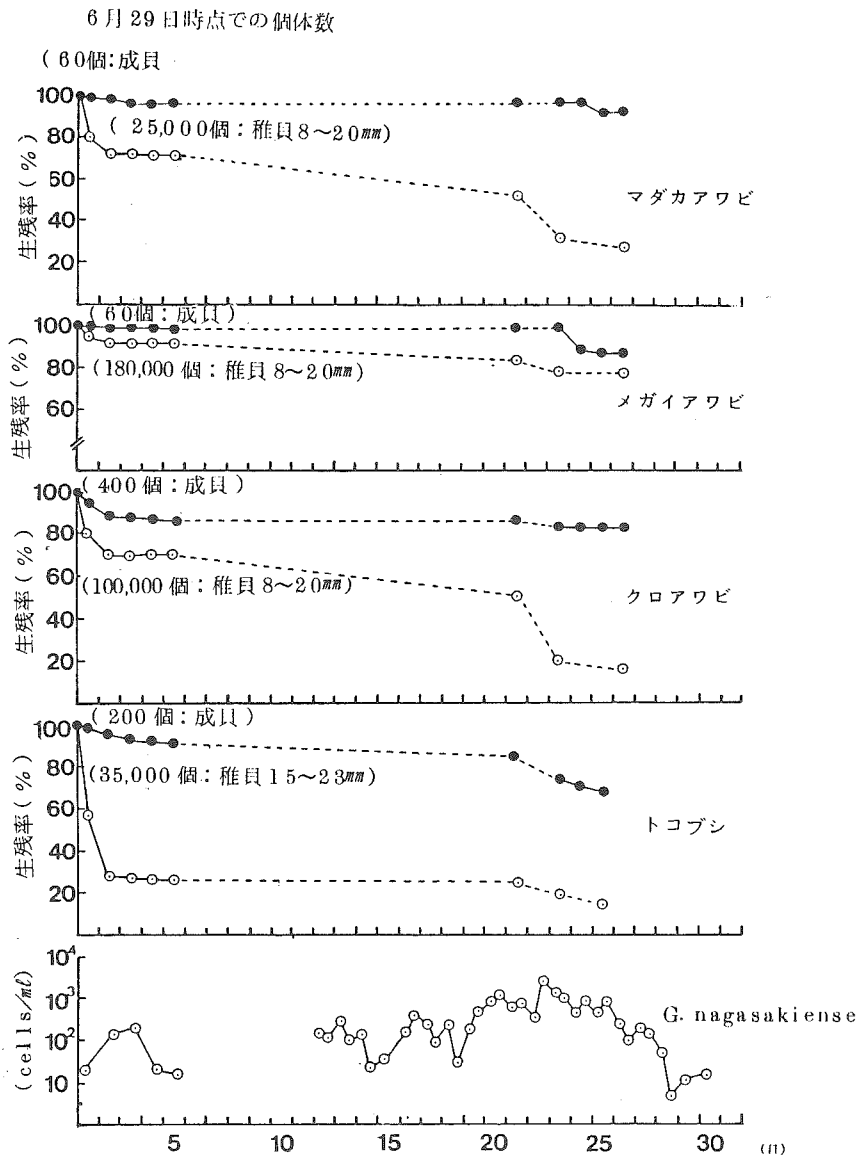


図 43 県栽培漁業センター陸上水槽での *G. nagasakiense* の推移とアワビ、トコブシの生残率 ●—●：成貝 ○---○：稚貝

うな結果となって現われたことも十分に考えられる。しかし、約1ヶ月にわたって観察した結果であるのでこの間、*G. nagasakiense* の密度の水槽間の差が±0となり、ここで示した *G. nagasakiense* の推移に近似した値に近づいて推移しているのではないかと考えられ、この結果が *G. nagasakiense* とアワビ、トコブシの斃死との因果関係をほぼ反映しているものと考えられる。

(2) ブリ稚魚（モジャコ）及びマダイ稚魚の飼育実験

飼育試験中の環境項目の推移を図44に示した。水温は24.5～27.0℃であった。定点別みると7月12日にはSt. BがSt. Aよりも1～2℃高目であったが、13日からは3点とも近似した値で推移していた。塩分は23～34.0‰の範囲で推移していたが、14日頃から急激に塩分が低下していた。定点別みるとSt. Bが他の定点より1.0‰以内の範囲で低目に推移し

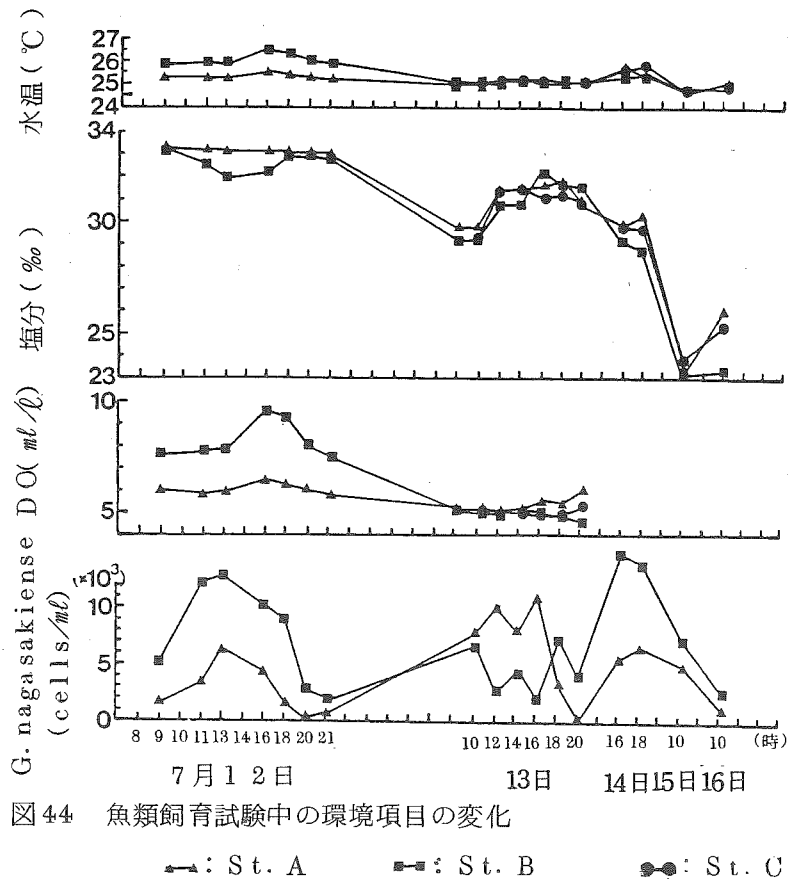


図44 魚類飼育試験中の環境項目の変化

—△—: St. A —□—: St. B —●—: St. C

ていた。DOはSt. A、Cでは5、6 ml/l台で推移していたが、St. Bでは7月12日に7 ml/l以上あり、過飽和状態であった。G. nagasakienseはSt. A、Bとも 10^3 cells/ml以上の密度で推移していた。特に、St. Aでは、7月13日、また、St. Bでは7月12日と14日に 10^4 cells/ml以上になり、非常に濃密な赤潮になっていた。

試験-Iにおけるマダイ稚魚とブリ稚魚(モジャコ)の生残率を図45に示した。ブリ稚魚(モジャコ)については、2、3区では試験開始2時間後から斃死がはじまり、1日目の終了時には、1区が全く斃死していないのに対し、3区では53%、また、2区では45%の生残率になっていた。1区と2、3区における生残率の差は両定点でのG. nagasakienseの密度差を反映しているように思われる。しかし、St. A、Bでは7月12日に1~2°Cの水温差もみられた。赤潮水中で飼育され、かなりのダメージを受けている魚であるので、この水温の差が両区の魚に与える影響も無視できないであろう。また、St. Bに設定した2、3区で生残率にほとんど差がみられなかった。これは投餌区の魚が摂餌活動を示さなかったことによるものであり、両区の設定条件が実行できなかったことに起因している。また、13日以降も魚を飼育し続けたが、午前中の観察では1区の魚が100%生残し、この試験区ではブリ稚魚(モジャコ)が全く斃死していなかったため、以後の観察を中止した。しかし、2、3区では、13日以降も斃死が続き、17日には、両区とも20~30%の生残率になっていた。マダイ稚魚については3日目までほとんど斃死がみられなかった。しかし、16日に大量の斃死がみられ、2区で67%、また、3区では48%の生残率になっていた。15、16日は、G. nagasakienseがかなり減少してきたところであり、また、ブリ稚魚(モジャコ)では特別変わった状況がみられなかった。そのためここ

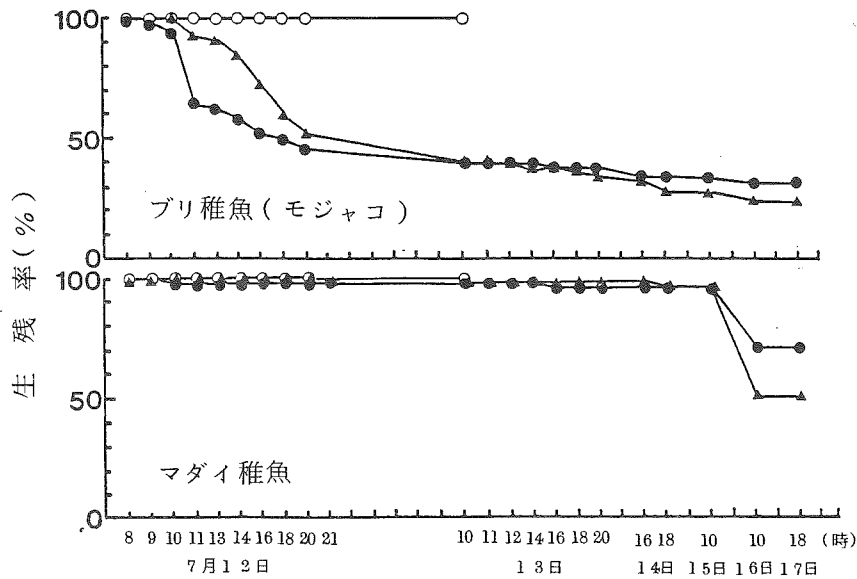


図45 魚類飼育試験-Iにおける各試験区の生残率

○● : 1区 ●● : 2区 ▲▲ : 3区

でマダイ稚魚だけが急に大量斃死した原因を *G. nagasakiense* に結びつけることは困難である。しかし、*G. nagasakiense* によるダメージの蓄積がこの日急に斃死となって現われたとも考えられるし、また、15日頃からの塩分低下も原因となっているように思われる。投餌区と無投餌区で生残率に差がみられたが、ブリ稚魚(モジャコ)と同様にマダイ稚魚も摂餌活動を示さなかったことからするとこの原因は不明である。ただ投餌という行為がブリ稚魚(モジャコ)に対して影響がなかったのに対し、マダイ稚魚では敏感に反応し、ストレスとなって、このような生残率の差になったものとも考えられる。このことから、*G. nagasakiense* が高密度になり、しかも、低塩分といった悪い環境条件下では投餌をやめ、魚を安静に保つことが必要であり、最善の対策であるように思われる。

試験-Iの飼育結果を図46に示した。ブリ稚魚(モジャコ)についてみると1区のSt.Aではほとんど斃死がみられなかった。しかし、St.Cでは2日目から斃死ははじめ、17日の終了時には40%になっていた。また、2区ではSt.A、Cとも2時間後から斃死がはじまり、16日にはSt.Aが63%、また、St.Cでは56%の生残率になっていた。この結果からみると2区、いわゆる赤潮非発生域で飼育していた魚の方が1区(赤潮水域で飼育していた魚)よりも赤潮に対して敏感に反応しているようであり、一見、魚自体にも何らかの耐性が形成されているように思われる結果が得られた。しかし、この点については生理面からのアプローチを加え、再検討すべきであろう。また、St.AとCでの生残率の差は *G. nagasakiense* の密度差を反映しているのであろう。更に、マダイ稚魚では、St.A、Cの両試験区で全く斃死がみられず、試験-Iでもみられたようにブリ稚魚(モジャコ)に比べて *G. nagasakiense* 赤潮に対して強い魚種であるといえよう。養殖業者からの聞き取りでもブリ稚魚(モジャコ)は全滅したが、マダイ稚魚は若干、生き残っているという話が何回か聞かれたが、このことから、赤潮に対する両魚種の強弱を裏付けしているように思われる。

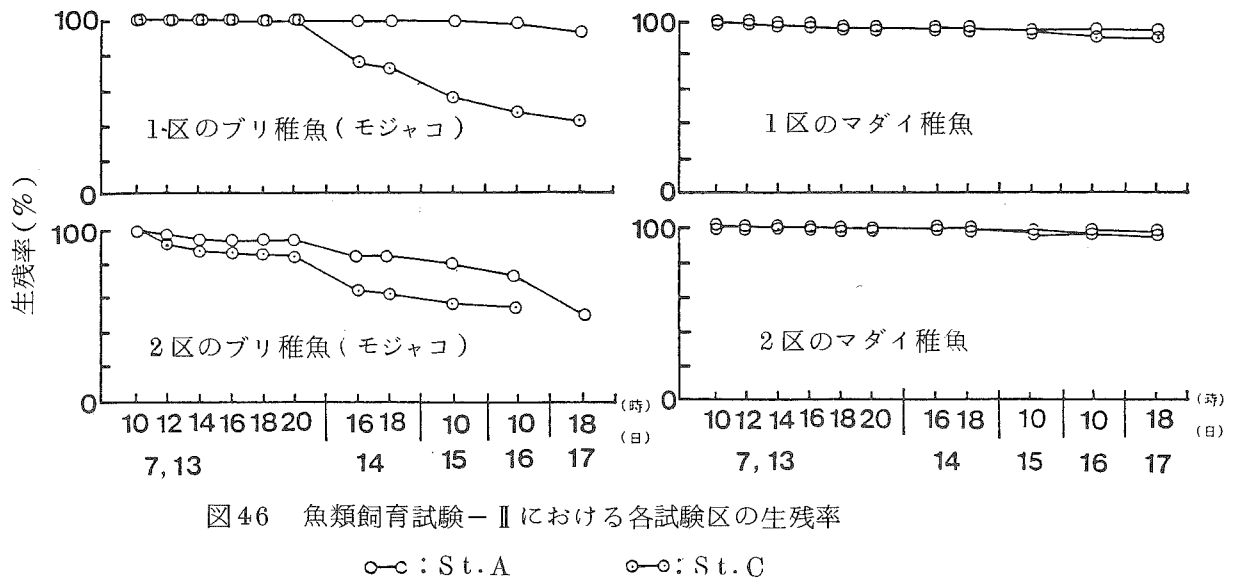


図46 魚類飼育試験-IIにおける各試験区の生残率

○-○: St. A ○-●: St. C

(3) 貝類の飼育実験

トコブシの半数致死時間とプランクトン数の関係を図47に示した。なお、ここでは供試貝を奇数個使ったため、半数致死時間とその時の *G. nagasakiense* の密度を斃死時間から逆算するという方法^{26,27)}をも加えたため、試験区より、プロットした点の数が増えている。まず、実験-Iの結果についてみると、*G. nagasakiense* の密度とトコブシの半数致死時間とは非常によく相関していた。すなわち、*G. nagasakiense* が 10^4 cells/ml 以上の密度では9時間以内に半数が斃死している。そして、*G. nagasakiense* の減少とともに斃死時間は長くなるが、約4,000 cells/mlでは10時間、300~400 cells/mlでは15時間、そして100~200 cells/mlでも24時間で半数が斃死しており、トコブシに対しては低密度でも敏感に反応するようである。しかし、ここで、口過した試験区ではトコブシの斃死はみられなかった。実験-IIでは *G. nagasakiense* とトコブシの致死時間の関係が実験-Iに比べて傾向が若干異なっている。これはここで使用した *G. nagasakiense* が天然種であり、両試験の間に約1週間ほどの時間差があった。その間の時間差等のため、両試験に供した *G. nagasakiense* に何らかの生理条件の差異があったものと思われる。Protogonyaulax tamarensis では発育速度の差がプランクトン体内での毒蓄積量の差となることも報告されている²⁸⁾。しかし、結果の傾向としては、約 10^4 cells/ml では3~4時間以内にトコブシが斃死するというかなり強い殺傷力がみられ、実験-Iと共通する部分もみられた。また、ここでは、*G. nagasakiense* の細胞を破壊した試験区を設定したが、ここでは生海水区と同様にトコブシは斃死していた。しかし、強くバッキシ、酸素を十分に補給した試験区では斃死はみられなかった。

次にメガイと *G. nagasakiense* の半数致死時間の関係を図48に示したが、ここでもトコブシと同様な方法で処理を行い図示した。メガイでは、実験-I、IIで比較的良く似た傾向がみられた。しかし、実験-Iでは 10^4 cells/ml 以上の密度では10~15時間程で斃死しているのに対し、実験-IIでは $1.0 \times 10^3 \sim 3.0 \times 10^3$ cells/ml でも9時間以内に斃死するというような結果がみられている。トコブシの場合にもみられたように、*G. nagasakiense* 側の要因によ

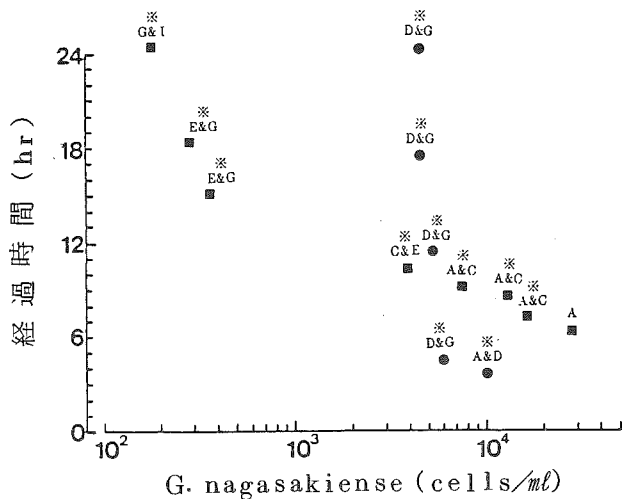


図 47 トコブシの半数致死時間と
G. nagasakiense の関係

■ : 飼育試験 - I ● : 飼育試験 - II

※ 両試験区より計算した値

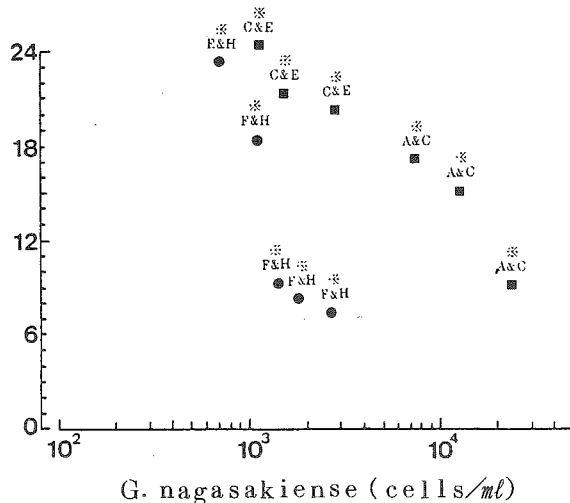


図 48 メガイの半数致死時間と
G. nagasakiense の関係

■ : 飼育試験 - I ● : 飼育試験 - II

※ 両試験区より計算した値

り、かなり貝類に対する反応が異なるようである。また、24時間の半数致死をみると両実験とも800~1,100 cells/mlの密度にあり、G. nagasakienseが低密度の時には、トコブシよりもメガイの方が反応が遅かった。また、トコブシと同様に口過した赤潮海水ではメガイは死ななかつた。

実験Ⅲではバイとヒオウギを用いたが24時間では弱った個体もみられたが両種とも全く死ぬことがなかつた。実験は赤潮の最中に行われたものであり、設定等が非常に不十分であった。そのため半数致死時間に表示しているが、むしろここでの結果はG. nagasakienseの各密度におけるトコブシとメガイの斃死時間の概要をとらえたものと判断される。また、G. nagasakienseが毒物を持ち、貝類に作用しているのだと仮定すると、その毒は体内毒であり、体外に溶出しているものではなさそうである。しかし、このような毒であるとプランクトンフィダーであるヒオウギが死なず、海藻食性であるトコブシやメガイが斃死するということは理解しにくい。赤潮海中ではG. nagasakienseとトコブシやメガイとの間で何らかの接触がおこっており、それが原因となり両種の斃死につながっているように思われるが、赤潮海水を強くバッキして、酸素を十分に補給してやるとトコブシが死ななかつたが、このへんが斃死機構におけるキーポイントになっているように思われる。

6. 赤潮時の対応策

6月29日に赤潮発生の連絡を受けた。そこで6月30日に全域調査を行ったところ図1に示したようにG. nagasakienseがすでに、全域に分布していることがわかつた。また、調査と同時に県栽培漁業センターから、アワビ、トコブシが斃死しているとの連絡を受けた。そこで、この赤潮が1980年の熊野灘で発生した赤潮²⁾と同タイプの殺傷力の強い種類のものであると判断されたので熊野灘沿岸域の各漁協、業者に対して、情報の伝達と警戒を促した。7月1日には大半の業

者が餌止めを行った。赤潮に対する有効な防除策がみられない現在、現状把握に努め、その資料から消極的な方策であるが餌止めや移動等を行っていくことが最善の方法である。そこで当场では7月に入ってから項目1で述べたように *G. nagasakiense* の分布調査を連日行い、情報の伝達を行ってきた。各漁協への情報伝達は電話とともに壁新聞(図49)を用い、これを漁協に掲示した。また、この調査結果をもとに県段階での赤潮対策が行われたが、概要は表10に示すとおりである。なお、7月26日には赤潮緊急対策本部が水産課に、また、当场には現地対策本部が設置され、赤潮被害の軽減に努めるとともに、養殖被害量の実態把握のため聞き取り調査や、また、資金融資関係の仕事が進められた。更に磯根資源の被害状況を調べるため、県単事業(漁場診断調査事業)が赤潮終息後に行われるようになった。

次に赤潮時の養殖魚対策として串本浅海漁場と浦神湾でとられた例について紹介する。

(1) 串本浅海漁場

7月1日に大半の業者が餌止めを行い、魚を安静に保つように努めた。この時点で生簀を移動したり、投餌を行った業者は項目5-1で述べたように魚を殺している。やはり、魚を安静に保つことが赤潮の初期段階では非常に有効なようである。ところが、7月15~20日頃になると赤潮が非常に濃密になってきた。そこで漁業者は自主的に生簀を深垂りするようになった。この漁場では通常は深さ7mの網を用いている。そこで、この網を2枚用意し、一方の底を取り除き、もう一方の網に連結させたものである(図50)が、この方法で約13~14mまで網を入れることができるようになった。串本浅海漁場では水深が20~40mあることが、この方法を可能にしたものである。また、赤潮第2期のピーク時には *G. nagasakiense* が10m付近まで

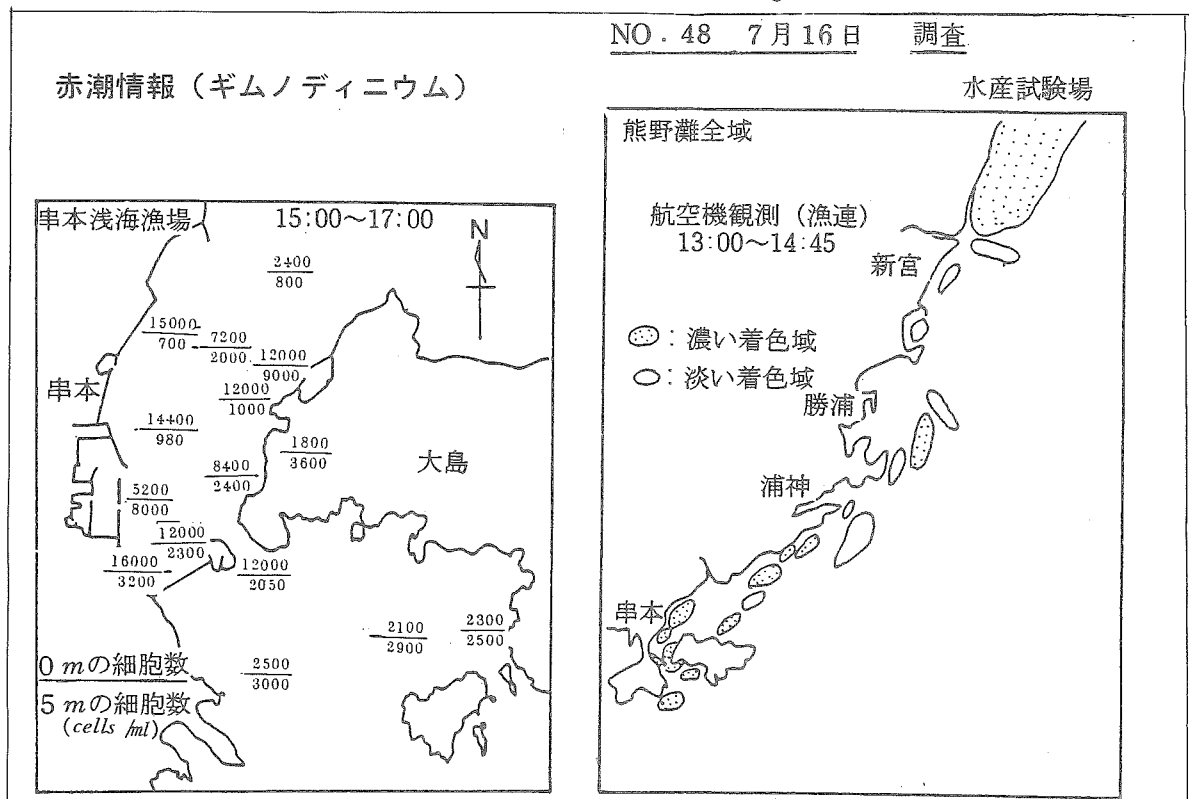


図49 壁新聞の一例

※ 7月16日午後の調査結果

表 10 赤潮対策の概要

月 日	
6月30日	熊野灘全漁協に赤潮情報の伝達と警戒を促す。
7月 1日	餌止め開始。
7月 2日	大島地区赤潮対策会議
7月 5日	串本～大島地区赤潮会議
7月14日	串本地区代表者が三重県尾鷲地区の現状と対応策の聞き取り調査
7月15日 ～20日	業者が自主的に網を沈下
7月26日	赤潮緊急対策本部設置 本部→県庁、経済部 地方本部→水産試験場
7月27日	水産庁、及び南西海区水産研究所の赤潮担当者が来県（現地調査のうえ、現地検討会を開催）
7月31日	モジャコ、稚ダイに一部投餌再開
7月31日 ～8月3日	被害調査を実施（養殖被害額、約28億円）
8月11日	赤潮終息宣言
9月以降	磯根資源診断調査（潜水等）
10月23日	赤潮反省会

10^4 cells/ml 以上で分布していた（図22、23）が、この方法により、魚はわずかに淡い層まで遊泳し、静止できるようになった。この方法が、魚の斃死防止にどれだけ効果があったかは不明である。しかし、現場からの情報によると非常に有効であったように思われる。

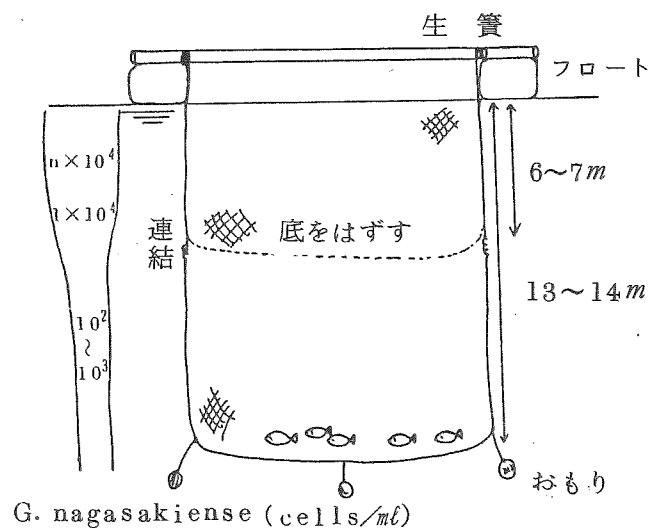


図 50 生簀網の連結状況と G. nagasakiense の分布

(2) 浦神湾

7月1日から全業者が一斉に餌止めを行うようになった。ここは水深が10～15mと浅く、串本浅海漁場のように深垂りをすることができなかった。そのため、生簀の曳航避難が行われた。しかし、湾外への避難が海流等の状況から困難であるため湾口部の仏埼から耳の鼻にかけての水域で行われた。そして赤潮の状態をたえず監視しながら、赤潮の濃密部が生簀付近に移動してきた場合は、すぐに生簀の曳航避難を行った。ここでは26日に大量斃死をおこしているが、業者の話では沖の方から濃い赤潮が川のような速さでおしよせてきたということであり、逃げられなかった業者の魚が斃死したものである。その状況は図16-2にもみられるように、この日は湾全域にわたって 10^4 cells/ml以上の分布になっている。

串本浅海漁場と浦神湾では水域の状況等が異なるため、このような独自の方法がとられたのであるが、両方法とも魚をできるだけ安静に保つことに努めれば 10^3 cells/mlのオーダーの範囲内ではなんとか魚を守れるのではないかとも思われる。また、両水域とも30～40日にわたって長期間、餌止めが行われた。しかし、餌止め終了直後の死亡といったものもみられず、また、秋から翌春にかけて「病気が例年よりも多く発生する」というような業者の話もきかれたが、「特に影響はない」という意見もあった。これらのことから、餌止めによる魚への影響は特になかったものと考えられ、赤潮時の対策としては消極的ではあるが餌止めが非常に有効な手段であると思われる。

要 約

1984年6月上旬から8月上旬にかけて熊野灘全域に *G. nagasakiense* の赤潮が発生した。熊野灘南部域では7月上旬から7月下旬にかけて濃密になり魚貝類に多大の被害を及ぼした。赤潮発生時の南部域での現場調査等から次のことが得られた。

1. 赤潮の発生経緯としてはまず6月上旬に三重県の五ヶ所湾奥部で発生していた。下旬には沿岸域も含めて北部域一帯に広がった。更に7月には南部域にも拡大し、熊野灘全域の赤潮になったものと考えられる。7月上～中旬にはこの赤潮が最も拡大していたが、この時には大王埼から潮岬までの距岸10～20kmまでの範囲が赤潮状に着色していた。
2. 南部域の内湾部では7月中赤潮としての着色状態が続いた。しかし、*G. nagasakiense* の増減を詳細に検討するとこの赤潮は、概ね7月1～10日頃、11～27日頃と28日～8月上旬の3期に区分され、更に7月5～6日頃、19～26日頃と7月28日～8月3日頃に各3期のピークがみられた。そして、この区分は太地周辺水域、浦神湾や串本～大島周辺水域で鮮明にみられた。各期間の密度としては内湾部ごとに若干異なるが第1期が 10^3 cells/ml前後で水域が淡く着色する程度であった。しかし、第2, 3期には 10^4 cells/mlを越え、非常に濃密になっていた。また第2期には 10^4 cells/mlを越える期間が長く、南部域ではこの頃が赤潮の最盛期であった。
3. 赤潮1, 2, 3期の増加期に各内湾域では *G. nagasakiense* の急増する現象がみられた。そこで、浦神湾と串本～大島周辺水域での増加状況を平均世代時間として求めたところ、浦神湾では0.24～0.59日、串本～大島周辺水域では0.19～0.94日という値が得られた。*G. nagasa-*

kiense では一般に 1 日 1 回分裂するといわれていることからするとここでの値は非常に短いものである。このことから赤潮期間中に、各内湾域ではそこでの増殖とともに湾外からの補給が行われ続けていたものと思われる。

4. *G. nagasakiense* は調査開始時の 7 月 1～3 日頃から赤潮第 1 期のピーク時にかけて表面より 5 m 層の方が濃かった。いわゆる初期段階での中層分布であるが、ごく限られた層に濃密に分布するような結果もみられた。赤潮の盛期である 2、3 期になると *G. nagasakiense* が表面に浮上するようになり、表層で 10^4 cells/ml 以上になり、非常に濃密に分布するようになった。
5. 今回の赤潮では串本～大島周辺水域が最も濃密であった。特に赤潮第 2～3 期にかけての 7 月 15 日～28 日頃まで表層付近で 10^4 cells/ml 以上の密度になっていた。また、第 2 期のピーク時には 10^4 cells/ml 以上の値が表面から 7 m 付近にまで達していた。
6. 赤潮発生時の水温は 24～29℃で各地で発生するものとほぼ一致していた。また、塩分は浦神湾の結果からみると 5～35‰の範囲に出現しており、この種は塩分に対して非常に適応範囲は広いようである。また、 10^4 cells/ml 以上の密度は 18.0～34.0‰の範囲でみられた。
7. 7 月の降水量は平年並であった。しかし、梅雨明け後はぐずついた天気が続き、中～下旬にかけて 3 回（7 月 13、23、29 日）100 mm 以上の降雨があった。当時の海洋構造により、降雨に伴う栄養塩に富む陸水が沿岸域に封じこめられるようになり、この低かん化した水域で *G. nagasakiense* が増殖し、赤潮を濃密に、しかも長期化させたものと考えられる。
8. 赤潮期間中は ENE～NE 方向の風が非常に卓越していた。特に 7 月 13 日を除くと 11 日から 29 日まで連続して吹き続いていた。
9. 赤潮期間中は、黒潮が非常に接岸しており、熊野灘沿岸域では南下流が卓越していた。串本浅海漁場防波堤で行っている定地観測でも、出潮（南下流）の日が続いていた。
10. 赤潮の第 2 期にはサンプル中に *G. nagasakiense* がほぼ純粋状態であった。しかし、第 3 期から消滅期にかけて種々のプランクトンが目立つようになってきた。この頃、浦神湾と串本～大島周辺水域では、「*G. nagasakiense* → *Gyrodinium fissum* → *Polykricos kofoidii* → *Skeletonema costatum*」というプランクトンの遷移パターンがみられた。このうち、*Gyrodinium fissum* の最も増加した時には、串本浅海第 1 漁場が部分的に乳白色に着色していた。
11. 赤潮末期の 7 月下旬に森浦湾、浦神湾や串本浅海漁場で貧酸素化現象がみられた。このうち串本浅海第 1 漁場では 7 月 22 日と 28 日にこの現象がみられたが、前日までの過飽和状態から一転して無～貧酸素状態になった。特に 7 月 22 日には表面から 4 m 層付近までが 1 ml/l 以下、また、6 m 付近までが 3 ml/l 以下になり、かなり大規模なものであった。
12. 貧～無酸素水の形成された水域一帯では「野菜のくさったような、いわゆる「青くさい」」といった異臭がただよっていた。この前日頃には、*G. nagasakiense* が死ぬ直前であったと思われるが、収縮、球形化した細胞が大量にみられた。この *G. nagasakiense* の大量死が異臭の原因であり、また、これの分解により水域の酸素が消費され、貧～無酸素水が形成されたものと思われる。
13. 漁業被害は *G. nagasakiense* による直接的なものや貧酸素化水によるものも含めると、養殖

魚貝類で約28億に及んだ。被害生物としては養殖魚貝類は飼育されている全種類、また、天然魚貝類では、イサキ、ウツボ、ウナギ、ネンブツダイ、ボラ、メジナ、磯魚等の魚類や、アワビ、トコブシ、イセエビ、巻貝類が確認され、被害生物は非常に多岐にわたっている。

14. 赤潮発生時には定置網にネンブツダイが大量に入ったり、天然アワビが汀線上にはい上ってくるといった異常現象が各地でみられた。
15. 魚類の飼育実験ではブリ稚魚はマダイ稚魚に比べると赤潮に対して弱いようである。また、赤潮非発生域で飼育されていた魚は赤潮水中に入れるとすぐに敏感に反応しだし、死にはじめた。
16. 貝類ではトコブシが最も弱く、次にアワビ類である。また、アワビ類のうちではクロ、マダカが弱い傾向にある。一方、稚貝は成貝に比べると弱く、陸上水槽で飼育中のトコブシの稚貝は *G. nagsakiense* が $100 \sim 200 \text{ cells/ml}$ の密度で大半が斃死したという事例もみられた。
17. プランクトン食性であるヒオウギ、アコヤガイや、また、バイはこの赤潮に対して若干強いようである。
18. トコブシ、マダカを使った飼育実験から *G. nagsakiense* が 10^4 cells/ml 以上の密度では2種とも数時間で斃死し、また、トコブシでは $100 \sim 200 \text{ cells/ml}$ でも24時間で半数が致死するという結果が得られた。更に、*G. nagsakiense* を口過した海水中では2種とも斃死しなかった。また、生海水(赤潮水)区でも強くバッキし、酸素を十分に補給した試験区ではトコブシ、マダカとも斃死がみられなかった。しかし、細胞を超音波等で破壊した海水では生海水と同様に斃死した。
19. 養殖魚の斃死防止策としては餌止めがすぐに実行され魚を安静に保つように努めた。しかし、*G. nagsakiense* が 10^4 cells/ml 以上になり、非常に濃密になった段階では安静に保っていても魚が死にはじめた。そこで、串本浅海漁場では生簀網を2枚連結し、深垂りをするようになった。また、浦神湾では濃密域をさけて、湾口への曳航避難が行われた。

文 献

- 1) 入江春彦、浜島謙太郎、1966: 1965年夏期大村湾赤潮時の海況とその被害-1、1965年大村湾赤潮の概説、長崎大学水産学部研究報告、21、59-65。
- 2) 竹内照文・中西一・加来靖弘・渡辺勇二郎・芳養晴雄、1981: 1980年熊野灘南部水域に出現した *Gymnodinium* type '65赤潮について、昭和55年度和水試事報、64-92。
- 3) 三重県水産技術センター、1984: 昭和59年度赤潮防止対策事業中間検討会資料、プリント。
- 4) 愛知県水産試験場、1984: 昭和59年度赤潮防止対策事業中間検討会資料、プリント。
- 5) 本城凡夫、田端健三、1984: 屋外水槽に発生した *Heterosigma akashiwo* の増殖速度と分裂周期、1984年日本海洋学会秋季大会講演要旨集、P. 247。
- 6) 飯塚昭二、1978: 赤潮鞭毛藻 *Gymnodinium* 自然群集の生長過程、文部省特定研究(1)、海洋環境保全の基礎的研究、海洋環境における生物過程の基礎研究14-19。
- 7) 飯塚昭二、1982: 大村湾における *Gymnodinium* 赤潮原因種の群生長、文部省「環境科学」特別研究、海洋環境特性と赤潮発生研究班、海洋環境特性と赤潮発生に関する基礎研究、153

- 8) 飯塚昭二、峯 邦宏、1983: 培養条件下で期待される赤潮渦鞭毛藻 *Gymnodinium* sp. ('65年型種)の最高生長速度、日本プランクトン学会報、30(2)、139-146。
- 9) 飯塚昭二、平山和次、1980: 赤潮の生長一群生長と分裂速度、赤潮に関する近年の知見と研究の問題点、赤潮研究会編集委員会、水産研究叢書、33、74-81。
- 10) 松平近義・川上玲子、1969: 赤潮の形成機構に関する研究、水産土木、5(2)、33-36。
- 11) 和歌山県水産試験場、1983: 昭和57年度赤潮防止対策事業検討会資料、プリント。
- 12) 田中義興・川上大和・川辺克己。1979: 博多湾における *Gymnodinium* '65型種の出現と環境について、昭和52年度福岡水試研究業務報告、171-181。
- 13) 高知県水産試験場、1980: 昭和55年度赤潮防止対策事業中間検討会資料、プリント。
- 14) 飯塚昭二・入江春彦、1966: 1965年夏季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、長崎大学水産学部研究報告、21、67-101。
- 15) 和歌山県気象月報、1984、和歌山地方気象台編集、1-16。
- 16) 高山晴義・安江 浩・安田政男、1984: 1982年、広島県東部海域に発生した *Gymnodinium* '65年型種と *Gyrodinium* について、昭和57年度赤潮予察調査報告書、広島県、4-9。
- 17) 高山晴義、1979: *Noctiluca scintillans* および *Gyrodinium* sp. による *Gymnodinium* 属の捕食について、「*Gymnodinium* 属赤潮の挙動と増殖機構の解明に関する研究」報告書、昭和53年度、水産庁、環境庁、107-114。
- 18) 竹内照文・芳養晴雄、1980: 田辺湾の赤潮-I、発生傾向と環境について、昭和54年度赤潮予察調査報告書(瀬戸内海ブロック)水産庁、200-215。
- 19) 池田武彦・小林知吉・桃山和夫、1981: 昭和54年夏期、徳山湾における連続観測-Gymnodinium type '65赤潮について-I、昭和54年度赤潮予察調査報告書(瀬戸内海ブロック)。
- 20) 小田達夫・小野知足・矢野 純、1981: 燧難の富栄養化と赤潮、昭和54年度赤潮予察調査報告書(瀬戸内海ブロック)水産庁、80-90。
- 21) 小林 博、1980: 赤潮による魚類斃死機構、赤潮に関する近年の知見と研究の問題点、赤潮研究会編集委員会、水産研究叢書、33、222-229。
- 23) 吉松定昭、1982: *Gymnodinium* sp. ('65年型種)の水産動物に与える影響、昭和55年度赤潮予察調査報告書(瀬戸内海ブロック)水産庁、144-151。
- 24) 金丸誠司・金盛浩吉、1986: 漁場診断調査事業、昭和59年度和水試事報。
- 25) 菊地博史、1979: カンダイの異常多獲現象、昭和53年6月発生ホルネリア赤潮に関する調査報告書(香川県編)、142-148。
- 26) 日本工業標準調査会、1971: 魚類の急性毒試験、工場排水試験方法、JIS KOIO2、154-157。
- 27) 田端健二他9名、1980: 生物に関する試験法、水質汚濁調査指針、恒星社厚生閣、377-488。

28) KODAMA, M. et al. , 1982: Comparison of toxicities of Protogony-
aulax cell of various sizes. Bull. Japan. Soc. Fish. 48(2), 567-
571.