

赤潮に関する環境水質調査 (第4報)

Investigation on Environmental Water Related Red Tide

大森 利春 多田 薫 藤井 裕士
 Toshiharu OMORI Kaoru TADA Hiroshi FUJII
 三好 健治 美澤 誠
 Kenji MIYOSHI Takeshi MIZAWA

播磨灘南部の引田湾において、昭和57年5月25日から8月31日まで、赤潮プランクトン*Chattonella* sp. の消長と環境因子について調査を行った。*Chattonella* sp. は、7月27日の表層で55cells/ml, 8月17日の底層で52 cells/mlの密度で出現するに留まり、赤潮に発展することはなかった。水温・塩分による躍層は、形成されなかったが表層でpHとDOの飽和度が少し高かった。PO₄-Pは、底層で高い傾向を示したが、T-Pは表層から底層までほとんど同一濃度であった。DINは、底層で高い傾向にあり、その増加はNO₂-N+NO₃-Nによるところが多かった。溶存態マンガン及び溶存態鉄は、表層から底層まで変化が少なく微量であった。懸濁態マンガン及懸濁態鉄は、底層附近で高く、特に、鉄においてこの傾向が強かった。

はじめに

近年、赤潮プランクトン類について、分離培養実験が進み、環境や栄養要求の生理的特性が明らかにされている。^{1), 2), 3)} しかし、実際に赤潮が発生する水域におけるこれらの分布や消長に関する資料は少ない。そこで、過去にハマチの大量斃死が生じた引田湾においてその原因プランクトンであった*Chattonella* sp. の消長と環境因子との関連性を解明することを目的として、調査を行った。

調査方法

1. 調査期間

1) 定点調査

昭和57年5月25日から8月31日まで、1週間間隔で15回行い、毎回午前9時に調査を開始した。

2) 広域調査

小豆島北西海域、備讃瀬戸、燧灘東部海域において、それぞれ8月2日、8月9日、8月11日に調査を行った。

2. 調査地点及び調査部位

1) 定点調査

播磨灘南部の引田湾に図1に示す定点を設け、0.5m, 2.5m, 5m, 10m, 15m, 20m, 底層(底面上0.5m)の7層について調査を行った。

2) 広域調査

図2に示す小豆島北西海域の6地点、備讃瀬戸の6地点、燧灘東部海域の5地点で0.5m層について調査を行った。ただし、小豆島北西海域の2については、中層(13m)、底層を加えた。

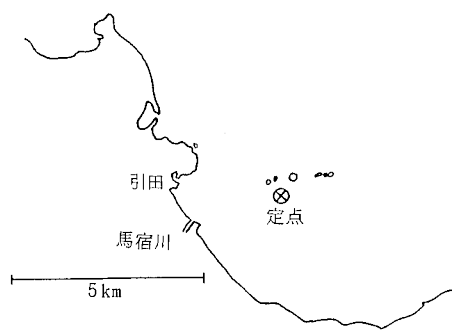


図1 定点調査地点図

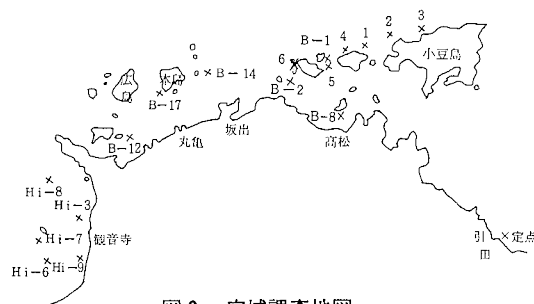


図2 広域調査地図

3. 調査項目及び分析方法

現場で水温を測り、バンドーン型採水器(3ℓ)を用いて採水し、2ℓガラスビンに入れた。溶存酸素については、その場で固定した。採取試料を直ちに実験室まで持ち帰り、pH、塩分を測定した。T-P、T-Nの分析試料としては、採取試料を直接用いた。NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N、PO₄-Pの分析用試料は、0.45μmメンブランフィルターでろ過し、初流の100mlを捨てたその後のろ液を用いた。溶存態マンガン及び溶存態鉄の分析試料は、酸処理をした0.45μmメンブランフィルターを用い栄養塩類と同一の操作で作製した。懸濁態マンガン及び懸濁態鉄の分析用試料は、酸処理をしたメンブランフィルター上に捕集されたものを用いた。

分析項目及び分析方法は、以下の通りである。

水温：サーミスター温度計(東邦電探ET-5型)

pH：ガラス電極法(堀場pH meter F-7ss)

DO：ウインクラール・アジ化ナトリウム変法

塩分：誘導型サリノメーター法(鶴見精機Digital

Salinometer E2010)

栄養塩類：テクニコン・オートアナライザーⅡ型で表1に示す方法で測定した。

表1 栄養塩類の分析方法

項目	分析方法
PO ₄ -P	テクニコン法 ⁴⁾
NH ₄ -N	テクニコン法 ⁵⁾
NO ₂ -N	テクニコン法 ⁵⁾
NO ₃ -N	テクニコン法 ⁶⁾
T-P	オートクレープ・アルカリ性ペルオキシ
T-N	二硫酸カリ同時分解法 ⁷⁾ で分解後、上記のPO ₄ -P、NO ₃ -Nの方法

溶存態マンガン及び溶存態鉄：試料200mlを300ml分液漏斗に採り、20%クエン酸二アンモニウム溶液10mlを加えた後、BTBを指示薬として青色を呈するまで1:1 NH₄OHを添加する。更に、10%DDTC溶液10ml及びDIBK10mlを加えて、10分間激しく振り混ぜる。しばらく静置した後、有機溶媒相と水相とに分ける。有機溶媒相に濃硝酸2.0mlを加え、10分間激しく振り混ぜ更に、8.0mlの純水を加えて軽く混ぜ静置した後、有機溶媒相と水相とに分ける。水相を用いて、フレイムレス原子吸光度法(D₂補正法)で測定した。(原子吸光装置：パーキンエルマ社製AA-5000型、炭素チューブ・フレイムレスアトマイザー装置：同社製HGA-500型、オートサンプラー：同社製AS-40型)

懸濁態マンガン及び懸濁態鉄：硝酸・過塩素酸で分解し、塩酸に溶解後、フレイム原子吸光度法(D₂補正法)

で測定した。(パーキンエルマ社製AA-370型)

植物プランクトン：実験室に持ち帰り、プランクトン計数盤を用い海水1ml中の細胞数を計測した。

結果と考察

1. 定点調査

1) 植物プランクトンの遷移

Chattonella sp. の出現数を表2に示した。5月25日、6月1日に球形のものが出現したが、その後、7月13日までは認められなかった。7月20日には、表層附近で紡錘形のものが1~5 cells/ml出現し、7月27日には0.5m層で55 cells/mlに増加した。台風10号通過後の8月3日には、数 cells/ml の死細胞が認められるだけで消滅していた。しかし、8月17日の調査では、再び全層で出現し、特に7月27日と異なり、底層で52 cells/mlと多く認められた。8月24日には、10m層で2 cells/ml、15m層で7 cells/ml認められるにすぎず、その後の8月31日には消滅していた。

表2 Chattonella sp. の出現数 (cells/ml)

	5/25	6/1	6/8	6/15	6/22	6/29	7/6	7/13	7/20	7/27	8/3	8/10	8/17	8/24	8/31
0.5m	0	0	0	0	0	0	0	0	5	55	0	0	9	0	0
2.5m	1	1	0	0	0	0	0	0	1	47	0	0	12	0	0
5m	1	0	0	0	0	0	0	0	2	5	0	0	27	0	0
10m	4	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	19	2	0
15m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	0
20m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0
底層	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	0	0

植物プランクトン優占種の遷移は、つぎのようであった。6月中までは、1~30 cells/ml程度の密度で数種のプランクトンが出現していたが、7月に入り、珪藻類のChaetoceros sp.が8月10日まで50~200 cells/ml程度出現するようになり、7月20日と7月27日には全層でDistephanus sp.が数十 cells/mlの密度で出現した。台風10号通過後の8月3日には、それまで数十 cells/mlであったSkeletonema sp.が0.5m層から5m層にかけて2000 cells/ml程度まで増殖し、その後、8月10日の0.5m層から10m層、8月17日の全層において1100~5800 cells/mlの密度を維持した。8月24日には、多い層で50 cells/ml程度に減少し、変って0.5m層から5m層までにGyrodinium sp.が200~780 cells/ml出現した。8月31日の調査では、著しく出現数が少なくなり、Ceratum sp., Dictyoca sp.が数 cells/ml出現するだけであった。

2) 水温、塩分、DO、pH

各層の水温、塩分、pH、DOの飽和度の範囲及び平均

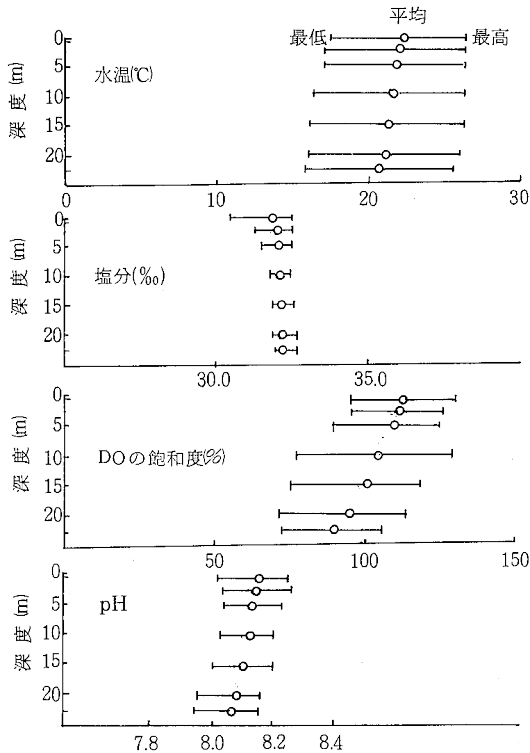


図3 水温、塩分、DOの飽和度、pHの範囲及び平均値

値を図3に、鉛直分布の変動を図4に示した。

水温は、15.7～26.4℃の範囲で推移した。0.5 m層と底層の濃度差は、6月22日の2.9℃が最高で躍層の形成はなかった。塩分は30.40～32.60‰の範囲で推移し、水温と同様に躍層の形成はなかった。最低は、台風通過に伴う陸水の影響を受けた8月3日の0.5m層であり、最高は、低水温高塩分水塊の流入があった7月6日の底層であった。DOの飽和度は、71～129%の範囲で推移し、著しい貧酸素化は生じなかった。80%以下になったのは、7月6日の20m層と底層、8月10日の20m層と底層、8月24日の10m層以深であり、塩分濃度の増加時と一致していた。pHは、7.95～8.26の範囲で推移し、一般に言われているようにDOの飽和度の高い時上昇していた。水温、DOの飽和度、pHは、調査時刻に影響されるが、昭和53年に比べるとおおむね低かった。

3) リン

各層における PO_4-P と $T-P$ の範囲及び平均値を図5に、経時変化を図6に示した。

PO_4-P は、0.17～0.97の範囲で推移した。各層の平均値は、0.5m層から5m層まで $0.3 \mu g-at/l$ 前後ではほぼ一定であったが、それ以深では増加の傾向を示し、底層では $0.52 \mu g-at/l$ と高かった。0.5m層から10m層までの経時

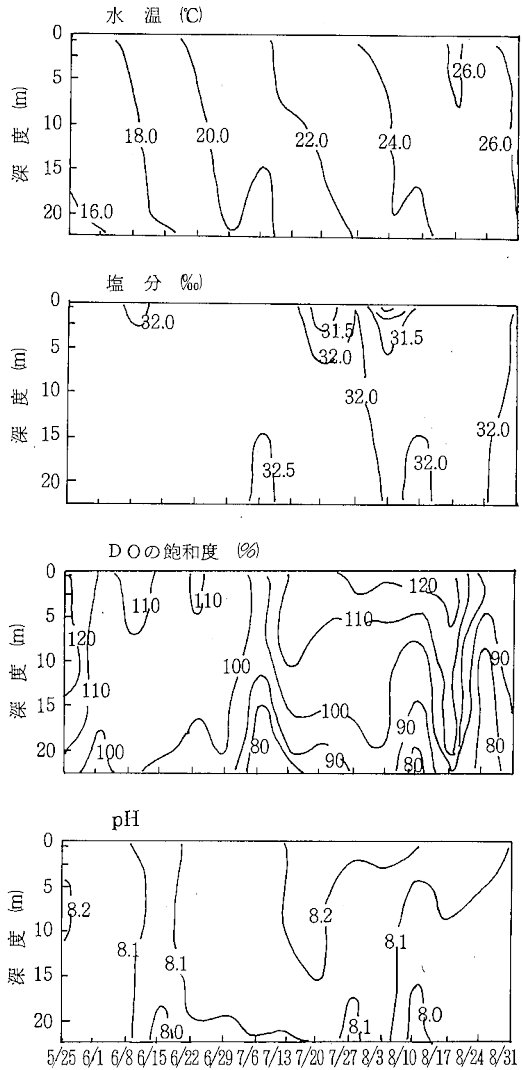


図4 水温、塩分、DOの飽和度、pHの鉛直分布

変化は、7月27日を除いて少なかった。15m層以深では、変動が大きく、DOの飽和度の減少時に増加する傾向にあった。8月31日には、全層で濃度差が少なくなり高い値を示した。 $T-P$ は、 $0.66 \sim 2.44 \mu g-at/l$ の範囲で推移した。各層の平均値は、0.5m層から20m層までほとんど一定で底層が若干高かった。8月3日までの0.5m層から20m層における経時変化は、少なかった。底層では、7月13日まで増加し、その後の8月3日まで減少した。8月10日以降は、全層で $1.29 \mu g-at/l$ 以上の高い値を示すようになった。 $T-P$ と PO_4-P は、

$$T-P = 0.61 + 1.4 PO_4-P$$

$$r = 0.626 \quad (n=105)$$

の関係にあり、相関が高く1%の危険率で有意であった。

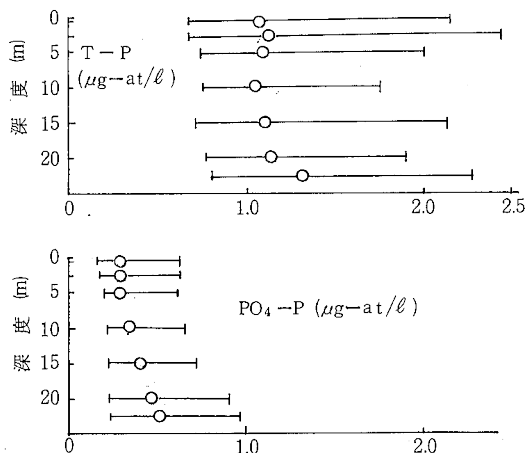


図5 PO₄-P, T-Pの範囲及び平均値

4) 窒素

各層におけるNH₄-N, NO₂-N, NO₃-N, DIN(NH₄-N+NO₂-N+NO₃-N), T-Nの範囲及び平均値を図7に, NO₂-N+NO₃-N, DIN, T-Nの経時変化を図8に示した。NH₄-Nは0.87~6.43μg-at/l, NO₂-Nは0.01~2.81μg-at/l, NO₃-Nは0.05~5.06μg-at/l, DINは1.12~11.36μg-at/l, T-Nは8.74~40.31μg-at/lの範囲で推移した。NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N, DINの平均値は, 0.5m層から5mにかけてはほぼ一定の値を示したが, それ以深では増加の傾向にあった。

T-Nは, 各層とも増減を繰り返したが, 平均値では各層間に大きい差はなかった。DINは, 6月15日まで全層ともほぼ同濃度であったが, 6月22日以降は, 底層附近で高い値を示す様になった。8月31日には表層, 中層ともに増加し, 全層で6.86~11.36μg-at/lの高い値を示した。NO₂-N+NO₃-Nは, 8月24日まで表層附近では低い値であったが, 8月31日には著しく増加していた。底層では, 6月29日まで表層と同濃度であったのが, 7月6日以降, 著しく増加した。このことは, 底層においても好氣的分解が充分に行なわれていることを示している。T-Nに占めるDINの割合は, 表層, 中層で低かったが, 8月31日には全層において高かった。T-NとDINは,

$$T-N = 13.7 + 0.194DIN$$

$$r = 0.115 (n=105)$$

で, 相関が低かった。

5) リンと窒素との関係

T-PとT-Nは,

$$T-N = 15.3 - 0.78 T-P$$

$$r = -0.075 (n=105)$$

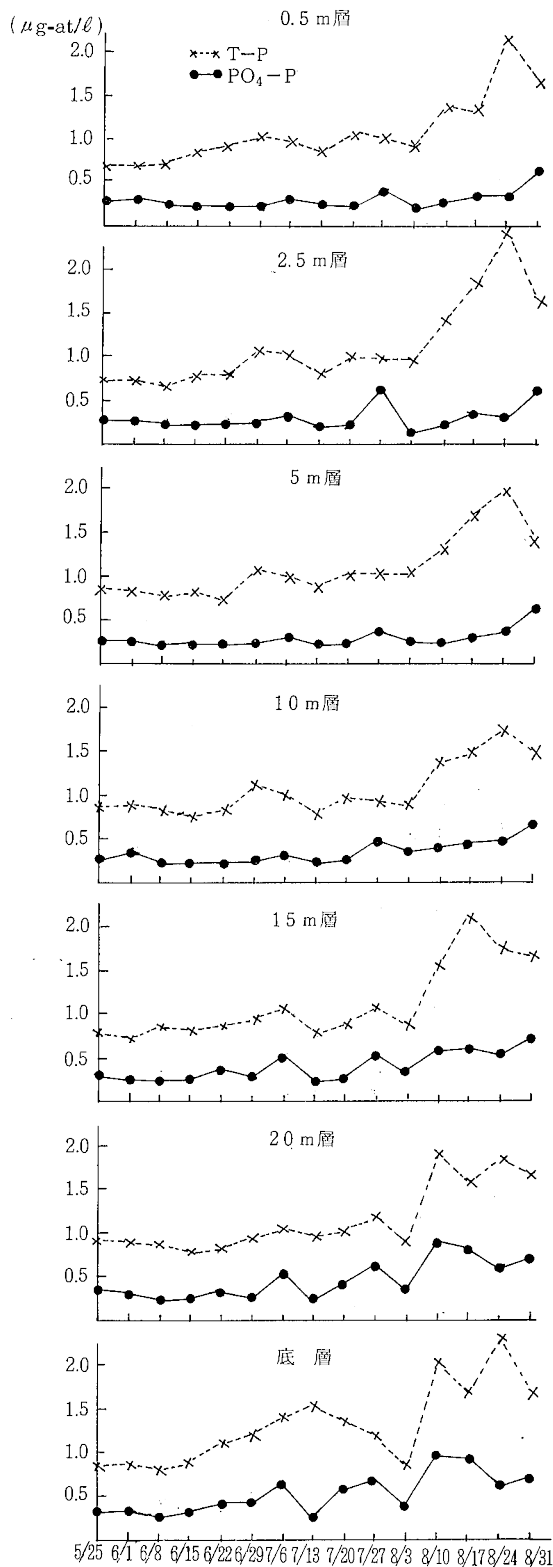


図6 PO₄-P, T-Pの経時変化

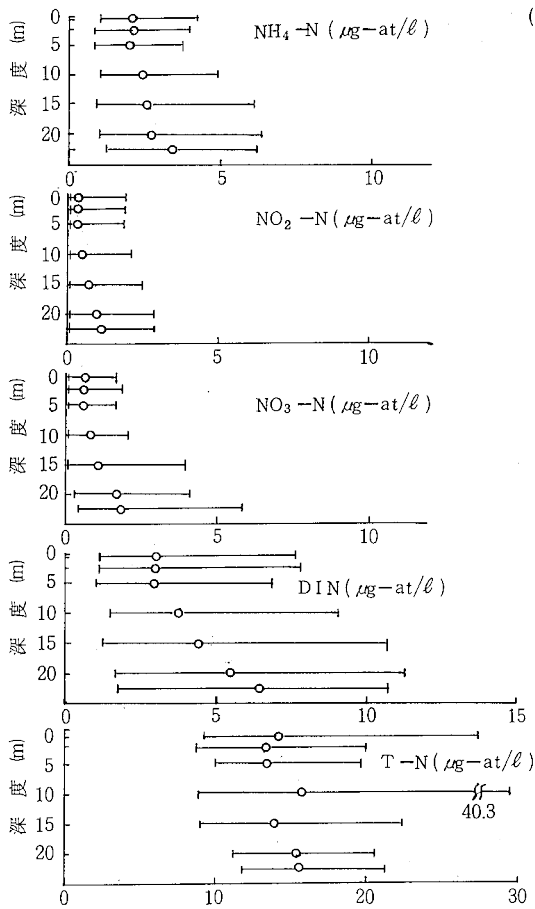


図7 NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N, DINの範囲及び平均値

で、ほとんど相関はなかった。しかし、PO₄-PとDINは、

$$DIN = 0.33 + 10.1 PO_4-P$$

$$r = 0.752 (n=105)$$

で、相関は高く1%の危険率で有意であった。夏季の表層附近におけるPO₄-PとDINは、陸水の影響が少なく、植物プランクトンの増殖に伴う消費と分解による再生が平衡状態にあり、変化は少なかった。底層附近では、底泥からの回帰により変動が大きかった。

6) マンガン及び鉄

各層における溶存態マンガン、懸濁態マンガン、溶存態鉄、懸濁態鉄の範囲及び平均値を図9に、測定値を表3に示した。

溶存態マンガン及び溶存態鉄は、0.3~3.7 μg/l、0.2末滴~1.5 μg/lの範囲で推移した。各層の平均値は、それぞれ1.13~1.65 μg/l、0.45~0.61 μg/lと差が小さかった。懸濁態マンガン及び懸濁態鉄は、それぞれ0.1~14.5 μg/l、

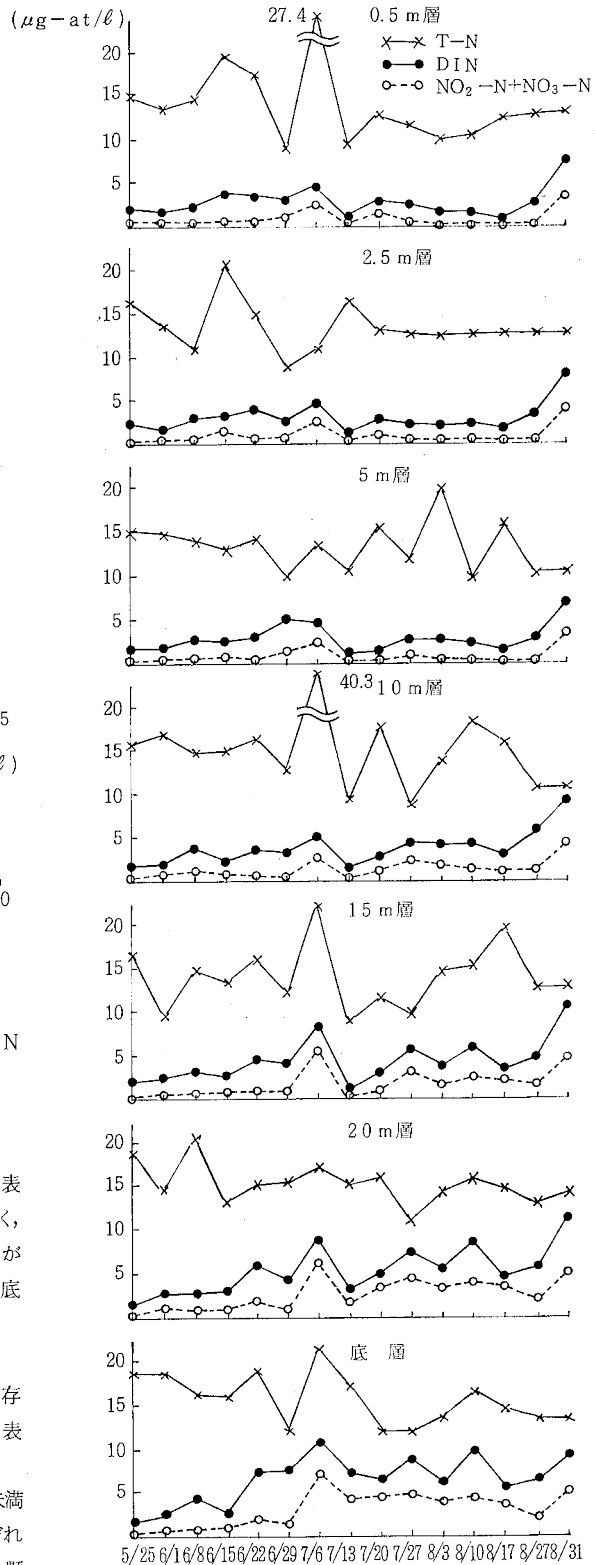


図8 NO₂-N+NO₃-N, DIN, T-Nの経時変化

表3 マンガン及び鉄の測定結果

溶存態マンガン ($\mu\text{g}/\ell$)

深度 \ 月日	5/25	6/1	6/8	6/15	6/22	6/29	7/6	7/13	7/20	7/27	8/3	8/10	8/17	8/24	8/31
0.5 m 0.3~2.9 (1.48)	1.4	0.8	1.8	1.4	1.8	0.7	0.9	0.9	1.7	1.5	2.9	1.4	2.0	2.7	0.3
2.5 m 0.7~2.8 (1.47)	1.4	0.7	1.1	1.6	1.7	0.8	0.9	0.9	1.8	1.6	1.9	1.2	2.8	2.8	0.8
5.0 m 0.7~3.0 (1.39)	1.4	0.7	1.1	1.6	1.9	0.7	0.8	0.9	1.5	1.2	1.8	1.1	3.0	2.5	0.7
10.0 m 0.7~2.2 (1.23)	1.4	0.7	1.0	1.6	1.8	0.8	0.9	1.0	1.2	0.9	1.3	1.1	1.7	2.2	0.8
15.0 m 0.6~2.2 (1.13)	1.2	0.6	0.9	1.5	1.4	0.7	1.0	0.8	1.1	0.9	1.1	0.7	2.0	2.2	0.8
20.0 m 0.7~3.3 (1.31)	0.9	0.7	0.9	1.5	1.2	0.7	1.6	0.7	0.9	1.7	1.1	1.8	1.9	3.3	0.8
底層 0.7~3.7 (1.65)	1.2	0.7	0.8	1.7	1.1	1.0	2.2	1.5	1.4	1.9	1.5	2.3	3.0	3.7	0.8

懸濁態マンガン ($\mu\text{g}/\ell$)

深度 \ 月日	5/25	6/1	6/8	6/15	6/22	6/29	7/6	7/13	7/20	7/27	8/3	8/10	8/17	8/24	8/31
0.5 m 0.2~4.5 (1.33)	0.2	0.4	0.4	0.5	0.2	0.6	4.4	1.0	1.5	1.6	0.4	1.6	0.5	2.2	4.5
2.5 m 0.2~4.4 (1.30)	0.2	0.6	0.3	0.6	0.2	0.5	4.4	1.0	1.5	1.6	0.3	1.6	0.5	2.2	4.0
5.0 m 0.2~4.4 (1.61)	0.2	0.7	0.3	0.6	0.2	0.6	4.4	1.0	3.0	2.6	0.4	2.2	0.7	3.1	4.1
10.0 m 0.1~4.4 (1.67)	0.2	0.6	0.6	0.8	0.1	0.6	4.4	1.0	1.5	2.6	0.8	2.4	1.0	4.4	4.0
15.0 m 0.6~6.4 (2.37)	1.8	1.8	1.4	1.0	1.0	1.0	6.4	1.5	3.0	2.4	0.6	2.8	1.1	5.2	4.5
20.0 m 1.2~9.0 (3.83)	2.0	4.4	1.6	1.6	1.5	2.0	5.4	4.0	4.0	6.6	1.2	9.0	1.5	8.0	4.6
底層 1.2~14.5 (6.95)	3.4	4.8	2.0	3.8	4.0	9.0	11.6	13.0	14.5	9.0	1.2	10.2	3.1	9.7	4.9

溶存態鉄 ($\mu\text{g}/\ell$)

深度 \ 月日	5/25	6/1	6/8	6/15	6/22	6/29	7/6	7/13	7/20	7/27	8/3	8/10	8/17	8/24	8/31
0.5 m 0.2~1.5 (0.57)	1.5	0.6	1.1	1.0	0.8	0.3	0.2	0.4	0.3	0.5	0.2	0.4	0.4	0.4	0.5
2.5 m 0.2~1.2 (0.56)	0.7	1.2	1.2	0.6	0.6	0.5	0.3	0.5	0.4	0.6	0.2	0.4	0.2	0.3	0.7
5.0 m 0.2~1.4 (0.61)	1.4	0.6	1.2	0.5	0.9	0.3	0.3	0.5	0.3	0.4	0.2	0.4	0.5	0.6	1.1
10.0 m 0.2~1.0 (0.54)	0.8	0.6	0.7	0.4	0.6	1.0	0.4	0.6	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	0.2	0.6
15.0 m 0.2未満~1.1 (0.51)	0.5	0.8	0.3	0.4	1.1	0.4	0.2	0.8	0.3	1.1	0.4	0.4	0.3	0.2未満	0.5
20.0 m 0.2~0.7 (0.45)	0.5	0.5	0.2	0.4	0.6	0.7	0.2	0.6	0.4	0.4	0.4	0.3	0.6	0.2	0.7
底層 0.2未満~1.4 (0.53)	0.9	0.6	0.4	0.4	0.8	0.7	0.6	1.4	0.4	0.2未満	0.5	0.3	0.2	0.2	0.4

懸濁態鉄 (μg/l)

深度	月日	5/25	6/1	6/8	6/15	6/22	6/29	7/6	7/13	7/20	7/27	8/3	8/10	8/17	8/24	8/31
0.5m 7~75 (22.7)		11	13	14	15	7	14	75	13	31	22	26	15	8	23	53
2.5m 7~77 (23.0)		12	19	12	16	7	14	77	13	33	23	20	19	8	23	49
5.0m 8~80 (24.3)		13	24	11	16	8	12	80	12	27	29	16	23	8	33	53
10.0m 7~79 (27.5)		9	18	13	19	7	16	79	14	26	33	34	32	18	42	53
15.0m 14~125 (37.6)		37	34	27	25	14	16	125	18	27	46	21	39	20	53	62
20.0m 15~174 (72.5)		38	105	31	36	33	47	135	56	57	160	15	174	32	97	72
底層 21~715 (213)		106	109	50	107	102	715	685	250	335	220	21	182	76	168	73

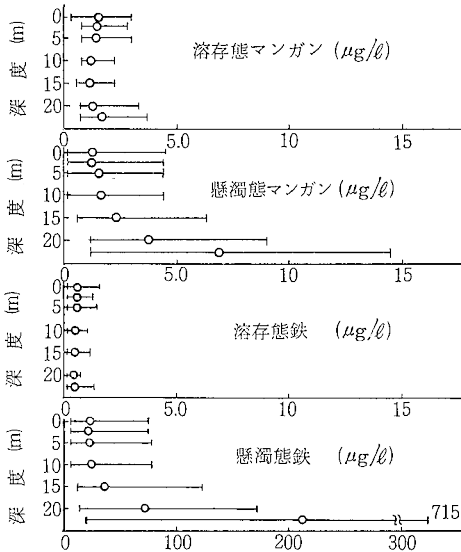


図9 溶存態マンガン、懸濁態マンガン、溶存態鉄及び懸濁態鉄の範囲及び平均値

7~715μg/lの範囲で推移し、溶存態に比べ変動が大きかった。各層の平均値は、マンガン、鉄ともに0.5m層から10m層にかけて1.5μg/l、25μg/l前後の同濃度であったが、15m層以深ではマンガンが2.37、3.83、6.95μg/lと増加し、鉄については37.6、72.5、213μg/lと著しく増加していた。0.5m層から15m層に比べ、20m層及び底層は増減を繰り返す、特に懸濁態鉄にその傾向が著しかった。この海域でのマンガンは、表層から中層にかけて溶存態と懸濁態がほぼ同一濃度であったが、底層では懸濁態が高い傾向にあった。これにくらべ、鉄は、全層で懸濁態が著しく多かった。

マンガンと鉄との関係は、次の通りで、

- ①溶存態マンガン = 1.33 + 0.021 懸濁態マンガン
r = 0.106 (n=105)
- ②溶存態鉄 = 0.545 - 0.0001 懸濁態鉄
r = -0.027 (n=105)
- ③溶存態鉄 = 0.707 + 0.122 溶存態マンガン
r = 0.272 (n=105)

表4 溶存態マンガン及び溶存態鉄の測定法による比較

深度	月日	溶存態マンガン (μg/l)								溶存態鉄 (μg/l)							
		6/22	6/29	7/6	7/13	7/20	7/27	8/3	8/10	6/22	6/29	7/6	7/13	7/20	7/27	8/3	8/10
0.5m	HNO ₃ 処理	1.8	0.7	0.9	0.9	1.7	1.5	2.9	1.4	0.8	0.3	0.2	0.4	0.3	0.5	0.2	0.4
		3.2	1.5	0.9	1.3	4.9	1.5	3.2	1.3	1.8	2.3	1.1	0.9	0.6	1.3	0.7	1.1
2.5m	HNO ₃ 処理	1.7	0.8	0.9	0.9	1.8	1.6	1.9	1.2	0.6	0.5	0.3	0.5	0.4	0.6	0.2	0.4
		3.5	2.0	0.9	1.2	4.1	1.4	2.1	1.0	1.0	3.5	1.5	1.8	0.6	1.0	0.8	1.3
5m	HNO ₃ 処理	1.9	0.7	0.8	0.9	1.5	1.2	1.8	1.1	0.9	0.3	0.3	0.5	0.3	0.4	0.2	0.4
		3.3	2.0	0.8	1.3	2.8	1.0	2.1	1.0	1.5	3.1	2.0	1.6	2.0	1.8	0.8	1.6
10m	HNO ₃ 処理	1.8	0.8	0.9	1.0	1.2	0.9	1.3	1.1	0.6	1.0	0.4	0.6	0.4	0.4	0.5	0.5
		2.6	2.1	0.9	1.2	1.8	1.0	1.6	0.9	2.1	2.9	1.7	1.7	1.6	1.3	1.0	1.6
15m	HNO ₃ 処理	1.4	0.7	1.0	0.8	1.1	0.9	1.1	0.7	1.1	0.4	0.2	0.8	0.3	1.1	0.4	0.4
		2.3	2.1	1.3	1.1	1.8	0.9	1.5	0.7	2.0	2.9	1.1	4.3	1.6	1.8	0.6	1.3
20m	HNO ₃ 処理	1.2	0.7	1.6	0.7	0.9	1.7	1.1	1.8	0.6	0.7	0.2	0.6	0.4	0.4	0.4	0.3
		1.9	2.2	1.8	0.9	1.5	1.9	1.3	1.5	2.1	2.8	1.5	3.7	1.2	1.6	0.9	1.1
底層	HNO ₃ 処理	1.1	1.0	2.2	1.5	1.4	1.9	1.5	2.3	0.8	0.7	0.6	1.4	0.4	0.2未満	0.5	0.3
		1.8	3.0	2.4	2.1	2.0	1.7	1.6	3.5	1.3	2.8	1.7	3.5	1.2	1.2	0.8	0.8

④懸濁態鉄 = 15.1 + 27.8 懸濁態マンガン

$$r = 0.768 (n=105)$$

懸濁態のマンガンと鉄に高い相関があった。

溶存態のマンガンと鉄を分析する場合、試料 200 ml に濃硝酸 2 ml を加え 4 時間加熱する操作を加えると表 4 に示すようにマンガン及び鉄の値が高くなった。この増加については、有機態のマンガン及び鉄の一部が DIBK で抽出できないためか、メンブランフィルターのろ過によっては溶存態と懸濁態とに区別することは難しい⁹⁾¹⁰⁾と

言われるように懸濁態の一部が混入したためかどちらかを明らかにすることは出来なかった。

2. 広域調査

小豆島北西海域、備讃瀬戸、燧灘において、定点調査と同じ項目について調査を行い、その結果を表 5 に示した。小豆島北西海域を調査した 8 月 2 日は、7 月下旬から発生していた *Chattonella antiqua* 赤潮のため 29 万尾のハマチが斃死した直後であった。8 月 9 日の備讃瀬戸

表 5 広域調査結果

	8月2日 1	2 上	2 中	2 下	3	4	5	6	8月9日 B-1	B-2
pH	8.10	8.14	8.12	8.13	8.21	8.11	8.09	8.04	8.11	8.11
溶存酸素 (μg/l)	7.88	8.36	8.12	8.06	9.02	7.96	7.70	6.90	6.94	6.76
塩分 (%)	31.188	30.833	30.899	31.070	29.536	31.205	31.217	31.869	31.986	32.200
NH ₄ -N (μg-at/l)	1.79	1.85	2.20	1.75	2.09	2.01	1.79	2.07	2.35	2.16
NO ₂ -N (")	0.31	0.19	0.27	0.22	0.25	0.41	0.50	0.58	0.62	0.52
NO ₃ -N (")	0.21	0.16	0.24	0.23	0.34	0.32	0.44	0.44	0.74	0.59
D I N (")	2.31	2.20	2.71	2.20	2.09	2.74	2.73	3.09	3.71	3.27
T-N (")	9.21	12.89	20.07	8.35	14.18	8.46	8.57	8.46	14.48	11.40
PO ₄ -P (")	0.24	0.22	0.19	0.18	0.18	0.17	0.18	0.25	0.37	0.34
T-P (")	0.94	1.08	1.26	0.87	2.69	1.42	1.03	1.04	1.39	1.18
溶存態 - Mn (μg/l)	3.9	3.5	3.5	4.2	5.2	3.6	3.9	3.0	2.3	2.1
懸濁態 - Mn (")	3.8	2.6	7.0	15.2	6.2	6.2	4.0	4.6	6.4	6.4
溶存態 - Fe (")	0.3	1.5	1.5	1.5	0.5	3.0	3.0	2.5	0.7	0.8
懸濁態 - Fe (")	77	56	86	212	62	96	64	60	80	83
<i>Chattonella</i> sp. (cells/ml)	2	13	15	2	17	12	32	3	0	0
G'65型 (cells/ml)	0	0	0	0	0	0	0	0	116	250

	B-8	B-12	B-14	B-17	8月11日 Hi-3	Hi-6	Hi-7	Hi-8	Hi-9
pH	8.15	8.19	8.15	8.15	8.25	8.27	8.21	8.24	8.29
溶存酸素 (mg/l)	7.34	7.58	7.12	7.32	8.34	8.24	8.00	7.62	8.74
塩分 (%)	31.953	32.473	32.360	32.380	32.099	32.076	32.369	32.260	32.299
NH ₄ -N (μg-at/l)	2.41	2.08	1.86	1.96	1.11	0.56	0.97	1.14	0.38
NO ₂ -N (")	0.46	0.13	0.16	0.14	0.09	0.10	0.09	0.14	0.10
NO ₃ -N (")	1.25	0.84	0.32	0.26	0.19	0.17	0.35	0.38	0.10
D I N (")	4.12	3.05	2.34	2.36	1.39	0.83	1.41	1.66	0.58
T-N (")	16.56	13.28	11.63	10.60	9.92	9.34	9.00	9.10	8.46
PO ₄ -P (")	0.27	0.26	0.25	0.26	0.24	0.23	0.27	0.22	0.25
T-P (")	1.46	1.24	1.33	1.31	0.78	0.67	0.68	0.87	0.79
溶存態 - Mn (μg/l)	4.0	5.0	2.5	4.5	1.5	2.4	2.2	2.8	2.8
懸濁態 - Mn (")	13.4	3.8	4.4	6.0	1.0	1.0	0.7	0.9	0.9
溶存態 - Fe (")	0.4	0.5	0.4	0.5	0.5	3.0	2.0	1.5	4.0
懸濁態 - Fe (")	244	82	67	86	22	16	14	38	14
<i>Clattomella</i> sp. (cells/ml)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G'65型 (cells/ml)	8	290	615	584	0	0	0	0	0

は、*Gymnodinium*'65 型赤潮が発生している最中であった。8 月 11 日の燧灘は、*Chaetoceros* sp. が数百 cells/ml、*Skeletonema* sp. が数千 cells/ml の密度で出現していた。

同じ時期の定点調査結果と比較すれば、栄養塩類では

燧灘の D I N、T-P が低い傾向にあり、小豆島北西海域及び備讃瀬戸の NO₂-N、NO₃-N が高い傾向にあった。他の項目については、大差なかった。マンガン及び鉄については、備讃瀬戸の溶存態鉄、燧灘の溶存態マンガン、

懸濁態マンガシ及び懸濁態鉄がほぼ同じ濃度であったが、その他の項目は数倍高かった。

3. *Chattonella* sp. と環境因子との関係

まず、調査期間の気象状況について高松気象台資料を

取りまとめ表6に示した。平年より8日遅れて、6月13日に梅雨入りをしたが、晴天が続き、6月の雨量は平年に比べ少なかった。しかし、梅雨末期の7月10日頃になって、曇りや雨の日が続き、梅雨明けは平年より11日遅く7月27日であった。このため、7月は、雨量が平年に

表6 気象状況(引田町相生小学校)

	6 月				7 月				8 月						
	平均気温(°C)	降水量(mm)	日照時間(h)	最大風速(m/s)	平均気温(°C)	降水量(mm)	日照時間(h)	最大風速(m/s)	平均気温(°C)	降水量(mm)	日照時間(h)	最大風速(m/s)			
1 日	23.0	2	7.0	8.0	第2回	21.3		12.5	4.8	22.3	143		6.1	台風10号	
2	18.8	24		3.7		23.7		10.5	4.8	26.2	2	11.4	9.2		
3	16.9	37	2.7	3.3		24.0		12.3	6.2	25.1	32	3.9	5.0	第11回	
4	19.1		12.0	4.9		23.4		12.2	3.9	25.5		11.7	5.2		
5	19.9		6.8	3.4		24.7		10.3	5.8	25.6		10.7	4.0		
6	22.0		9.0	4.5		23.0		0.1	7.6	第7回	26.3		7.2	4.3	
7	21.1		2.9	3.8		22.7	23	3.5	5.0	26.8		7.4	5.3		
8	22.0		10.7	4.8	第3回	24.8		10.3	4.6	26.1	2	7.7	4.6		
9	22.3		9.6	3.6		24.6		10.1	3.4	24.2	15	5.0	4.0		
10	20.8		9.3	4.0		25.6	1	10.1	5.0	25.4		9.2	5.0	第12回	
11	22.4		10.0	5.4		24.7	4		4.3	25.1		3.4	5.6		
12	22.4		10.8	6.6		25.1		2.1	6.3	26.1		2.9	5.6		
13	20.4			5.6		21.0	1		3.4	第8回	27.2		4.7	3.2	
14	19.4	5	2.1	7.2		20.4	57		5.2	25.8		1.3	2.7		
15	19.5		11.8	3.6	第4回	23.2	1	6.8	5.3	26.4		6.2	3.4		
16	21.5		8.6	4.7		22.7	16	0.2	4.2	26.4		0.2	9.4		
17	21.2		1.2	5.1		23.3	3	0.8	6.4	26.5		4.3	6.1	第13回	
18	20.8		1.1	4.1		23.5	5	4.3	3.3	25.2		1.1	4.5		
19	23.2		8.8	4.3		22.3	35	2.3	3.8	24.6	5	0.3	4.3		
20	21.9		6.0	6.3		22.0	3		3.2	第9回	26.0		5.0	5.9	
21	22.1		9.7	4.3		23.7	2	8.6	4.3	26.4		4.8	4.2		
22	23.1		7.6	5.3	第5回	22.9		9.4	3.2	26.7		7.8	4.0		
23	21.0	1	0.4	7.4		23.5		1.7	3.1	27.4		8.9	4.3		
24	21.2		3.5	4.6		22.3	62		4.6	27.2		7.3	5.1	第14回	
25	22.1		10.9	4.3		25.0	1	5.4	4.4	27.9		3.6	6.1		
26	21.6		5.2	4.3		25.6		8.2	3.7	27.2		3.2	10.6		
27	21.0		9.8	5.9		26.7		8.1	4.1	第10回	26.3	53		13.2	台風13号
28	20.3		12.3	4.9		26.6		5.9	6.1	27.4		9.3	4.6		
29	20.9		8.7	4.5	第6回	25.7	23	7.8	3.9	24.4		6.5	3.9		
30	20.1		12.7	4.1		25.5		7.7	3.1	24.1		10.0	4.0		
31						25.5		10.3	4.5	24.5		0.7	3.8	第15回	
	21.1	69	211.2			23.8	237	181.5		25.9	252	165.7			

に比べ多く、日照時間は少なかった。8月にはいり、雨量は、1日に台風10号、27日に台風13号が接近し、大量の雨を降らせ平年を大きく上回った。日照時間は、中旬に曇りの日が多く平年の6割程度であった。

Chattonella sp. の紡錘形が多く出現した7月27日、8月17日前後の環境因子は、次のようであった。水温は、7月20日から8月3日までは21.4~25.0°Cで最適温度範囲³⁾であった。8月10日から24日までは、23.6~26.1°Cで表層から中層にかけて最適温度範囲より少し高かった。塩分は、31.02~32.34‰で好適塩分範囲とされている³⁾14~34‰を満していた。pHは、7.96~8.25で好適pHとされている³⁾8以上にはば該当していた。これらの値は、Chattonella sp. による大規模赤潮が発生し大量ハマチの整死に至った昭和53年度の調査結果⁸⁾と比較すれば若干低い傾向にあった。しかし、本年Chattonella antiqua 赤潮が発生した小豆島北西海域の値とも大差なく、Chattonella sp. の成育に適していたと言える。栄養塩類は、 PO_4-P が0.20~0.97 $\mu\text{g-at}/\ell$ 、 $T-P$ が0.92~2.22 $\mu\text{g-at}/\ell$ 、 DIN が1.33~9.56 $\mu\text{g-at}/\ell$ 、 $T-N$ が8.78~19.60 $\mu\text{g-at}/\ell$ で昭和53年度に比べ高かった。0.5 m層の栄養塩類濃度は、富栄養化の激しい大阪湾、播磨灘北部に比較してそれ程高くないけれども、赤潮にまで発展した小豆島北西海域と同レベルの濃度であり、Chattonella sp. の生育には適しているものと考えられる。溶存態マンガン及び溶存態鉄は、それぞれ0.9~3.7 $\mu\text{g}/\ell$ 、0.2未満~1.1 $\mu\text{g}/\ell$ であった。中村等³⁾によれば、マンガンには増殖効果がなく、鉄については3.5 μM 以上必要であると言われている。また、岩崎¹¹⁾によれば、可溶態のマンガン及び鉄ともに増殖効果があると述べている。しかし、この海域の溶存態鉄は、硝酸処理を行い0.45 μm ミリポアフィルターを通過した全量を求めた値を用いても、3.5 μM に比べると著しく低く、増殖効果を現わすには至らないと考えられる。小豆島北西海域でも溶存態鉄は微量であ

った。これらのことからChattonella sp. が懸濁態鉄を直接に利用している可能性も考えられ、今後植物プランクトンにおける鉄の取り込み機構の解明を待つものである。

今回調査を行った環境因子では、Chattonella sp. の消長と関連づける結果は得られなかった。ただ、Chattonella sp. は、昭和53年度もそうであったように台風の風波の後には必ず衰退しており、波浪には弱いようであった。また、Chattonella sp. が消滅する前の8月17日には、底層に多く出現した。このことは、Chattonella sp. の生活史を考える上である意味を持つかもしれない。

文 献

- 1) 丸茂隆三：海洋学講座海洋プランクトン、46、東京大学出版会（1974）
- 2) 赤潮研究会編集委員会：赤潮に関する近年の知見と研究の問題点、103、日本水産資源保護協会（1980）
- 3) 中村泰男、渡辺 信、渡辺正孝：国立公害研究所研究報告、30、53（1982）
- 4) テクニコンオートアナライザー：Industrial method NO.154-71 W/A Tentative（1973）
- 5) テクニコンオートアナライザー：Industrial method NO.158-71 W/A Tentative（1972、1977）
- 6) テクニコンオートアナライザー：Industrial method NO.155-71 W/A Tentative（1973）
- 7) 細見正明、須藤隆一：用水と廃水、21、12、57（1979）
- 8) 香川県：昭和53年6月発生ホルネリア赤潮に関する報告書、6（1979）
- 9) 安部喜也、半谷高久（Werner Stumm, James J. Morgan）：一般水質化学 上、271、共立出版（1974）
- 10) 安部喜也、半谷高久：一般水質化学 下、510、共立出版（1974）
- 11) 岩崎英雄：文部省科学研究費補助金総合研究(A)有毒プランクトンに関する研究 昭和52年度報告書、20