

# 有明海沿岸の鉄濃度変化とプランクトン発生

田端正明・Abdul Ghaffar・保見真悟

佐賀大学理工学部機能物質化学科 (〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

## 1. はじめに

有明海は九州西部の佐賀、長崎、福岡、熊本の四県に囲まれた南北96キロメートル、幅は平均18キロメートルの北から南に向かって大きく入り込んだ内湾である。その総面積は約1700km<sup>2</sup>である。この有明海には約1万年の間に、阿蘇・久住山系からの火山灰質の土砂や、背振・天山山系の花崗岩質砕せつ物が筑後川、本明川、六角川、嘉瀬川、矢部川、菊池川、白川、緑川の河川により有明海へ運ばれてきた懸濁粒子が堆積して、干潮時には国内の総干潟面積の約42%にあたる263km<sup>2</sup>もの広大な干潟(海岸線から最大6km)が出現する。このため有明海の平均水深は約20mと非常に浅く、それに加えて、干満の差が最大で6mと非常に大きいので、底泥の巻き上げにより海水は濁っている。海水中の浮泥は河川から流入する窒素やリンを吸着するので有明海は他の海に比べて、富栄養化が起こりにくいとされている<sup>1)</sup>。海水のニゴリによる光の透過率の減少と浮泥の作用による富栄養化の抑制は有明海における赤潮発生の頻度が少ない要因である。しかし、近年有明海において貧酸素水塊が形成されている<sup>2,3,4,5)</sup>。貧酸素水塊はタイラギの溺死など貝類漁獲量の減少および赤潮発生の要因の一つとして考えられる。

赤潮は、一般に富栄養化した沿岸水域において発生し、著しく高い密度まで増殖した結果生じる海の着色現象である。その発生機構の一つとして、河川からの流入や、雨水、堆積物の溶解などによって一時的な鉄の大量供給が起こり、赤潮藻類の大量発生に影響及ぼす可能性がある<sup>6,7)</sup>。有明海では1989年以降、夏季に有害プランクトンであるシャトネラの赤潮が発生し、魚介類の斃死など、漁業に大きな被害を与えている。有明海の貧酸素水塊は、湾西部の沿岸干潟域に発生する<sup>2,5)</sup>。速水は有明海西部の塩田川沖水道上のラインで貧酸素水塊が発生することを示している<sup>8)</sup>。このような貧酸素水塊の形成によって、底泥から鉄が溶出し、特に底層では高濃度になり、それがシャトネラ増殖を促進している可能性がある、というものである<sup>9)</sup>。昨年度、濾過した(0.45 μmメンブレンフィルター)試料中の鉄

濃度分布は主に雨による出水によることが明らかになった。しかし、溶存酸素濃度は雨の後表面で高い値を示し、海底では貧酸素塊が発生していることが明らかになった<sup>9)</sup>。

本研究では、夏季の有明海湾奥部における全鉄の分布の変動と有明海の環境変化、特に溶存酸素濃度とプランクトンの発生と関係について検討した。更に、2007年毎月採取した湾奥部の海水についても同様の検討を行った。

## 2. 実験

### (1) 試料および採取地点

本研究では貧酸素水域の発生が見られた有明海の塩田川沖水道に沿った7地点(A01~B4)で、船上から表層から1m, 5m, 10m, 15m, 底層から1mと深度を変えてサンプリングを行った(図1)。具体的な採水地点と深度は以下の通りである。A01, 表層から1m, 底層から1m; A03, 表層から1m, 4m底層から1m; A10, 表層から1m, 5m, 底層から1m; A13, 表層から1m, 5m, 10m, 底層から1m; B02, 表層から1m, 5m, 10m, 底層から1m; B12, 表層から1m, 5m, 10m, 15m, 底層から1m; B14, 表層から1m, 5m, 10m, 15m, 底層から1m。

採水は6月27日, 7月3日, 7月13日, 7月20日, 7月23日, 7月26日, 7月30日, 8月5日, 8月8日, 8月25日の計10日間行い、満潮を挟んで3時間以内に完了するようにした。更に、2007年の8月から毎月大潮の満潮時に海岸近くの採水地点A01-A03で採水し、全鉄及びイオン性鉄の分析を行った。

### (2) 実験操作

採水した試料の一部は現場で0.45 μmメンブレンフィルターでろ過した。もう一つはろ過しない試料とした。いずれも、直ちに実験室で3mol/dm<sup>3</sup>塩酸1mlを添加した。その各々のサンプルを偏光ゼーマン原子吸光度計Hitachi High-Technologies社 Z-2000を用いてグラファイトファーネス法で測定を行った。

測定容器は、鉄の混入を防ぐためにフッ素容器を用い



図1. 採水地点

た。採水試料容器は1昼夜1 mol dm<sup>-3</sup>の硝酸容器浸した。蒸留水は精密再蒸留水を用いた。海水の塩化物はグラフアイトファイトファーネス法で超微量の鉄 (ppbレベル) の定量に妨害をもたらしたので、次のようにしてその妨害を除いた。試料に超精密濃硝酸溶液を加え海水中の塩化物イオンをHClとして余熱過程 (700 °C) で揮発させた。更に全試料について硝酸銀滴定により試料中の塩化物イオンの濃度を定量し、塩化物イオン濃度ごとに検量線を作成し、試料中の鉄の濃度を求めた。用いた試薬は、有害金属分析用塩酸 (和光純薬工業製) と超微量分析用硝酸 (和光純薬工業製) である。

### 3. 結果と考察

#### (1) 降水量と鉄の濃度

海水中の鉄の濃度は河川からの流入、特に雨による影響が大きいため、調査期間中の測定地域 (白石) の降水量を図2に示す。2006年6月末から7月初めにかけて

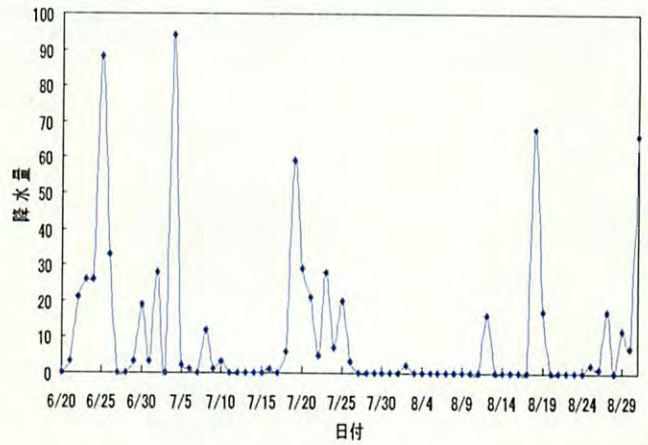


図2. 採水時期の降雨量

まとまった降水量があり、また、7月半ば過ぎにもまとまった雨となった。梅雨明けが7月末で例年に比べて遅かった。

8月18日には降雨量は少ないが台風10号が通過している。

全鉄の濃度を深度別にまとめたものを表1, 2に示す。全鉄濃度は700 ppbから30ppbの範囲で変化した。表層1 mの全鉄の濃度は6月27日と7月13日、7月20日及び7月30日以降に高い値を示した。底層から1 mでは6月27日、7月13日、7月20日、7月30日に高い値を示した。海水中の鉄の濃度は降雨による河川からと底泥か

らの巻き上げに依存する。表層の鉄の濃度が降雨日以外の晴天時に (7月13, 30日) 全鉄の濃度が高いのは興味深い。底層では底泥の攪乱が起こるので一般に高い値を示している。しかし、底層でも晴天の7月30日に全鉄濃度が高かった。全鉄濃度は深度によってそれほど大きく変化しないが、底泥との攪乱が少ないと思われる降雨後晴天が続いた8月初のデータを図5に示す。表面と底層は高く、中央で低くなった。しかし、海岸から遠い地点 (B14, 20km) では、表層から底層にかけて鉄の濃度は増大した (図3, 4)。図3, 4から次のような二つの興味ある結果が得られた。

表1. 表層1mにおける溶存態鉄の濃度 (PPb)

	A01	A03	A10	A13	B02	B12	B14
2006.06.27	380	725	460	842	837	848	
2006.07.03	286	786	835	398	837	705	365
2006.07.13	73	665	653	782	748	454	424
2006.07.20	434	241	307	550	579	240	328
2006.07.23	376	217	214	374	338	429	221
2006.07.26	70	452	496	509	695	781	845
2006.07.30	646	650	464	782	815	870	300
2006.08.05	278	249	235	234	245	201	302
2006.08.08	322	231	122	221	170	316	277
2006.08.25	308	243	279	374	292	323	319



表2. 底層から1 mにおける全鉄の濃度 (PPb)

	A01	A03	A10	A13	B02	B12	B14
2006. 06. 27	354	800	448	329	204	150	179
2006. 07. 03	275	240	212	280	143	152	144
2006. 07. 13	727	312	81	120	76	333	372
2006. 07. 20	638	372	561	147	402	466	319
2006. 07. 23	222	221	152	325	1716	170	166
2006. 07. 26	135	473	419	371	434	342	321
2006. 07. 30	658	470	452	476	188	365	349
2006. 08. 05	365	203	192	236	50	33	27
2006. 08. 08	363	258	169	58	76	35	63
2006. 08. 25	303	247	174	113	75	296	316

一方

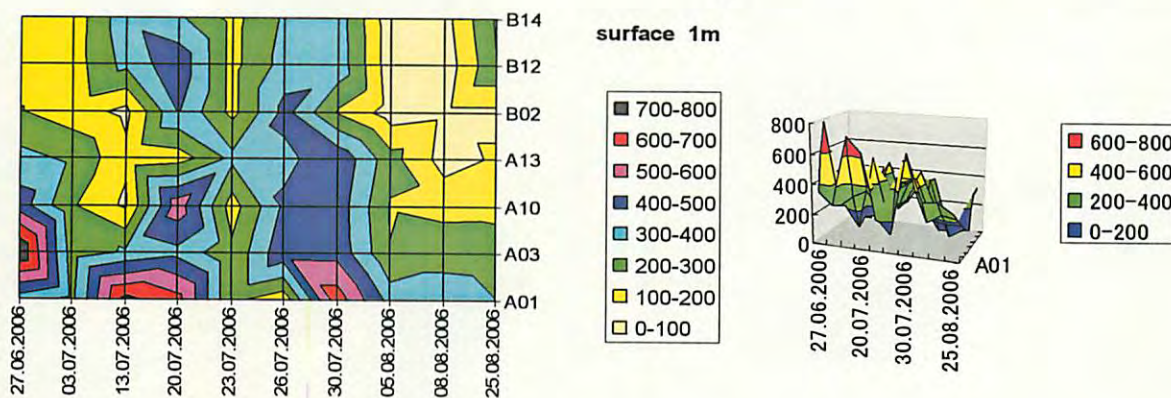


図3. 表層1 mにおける全鉄濃度分布

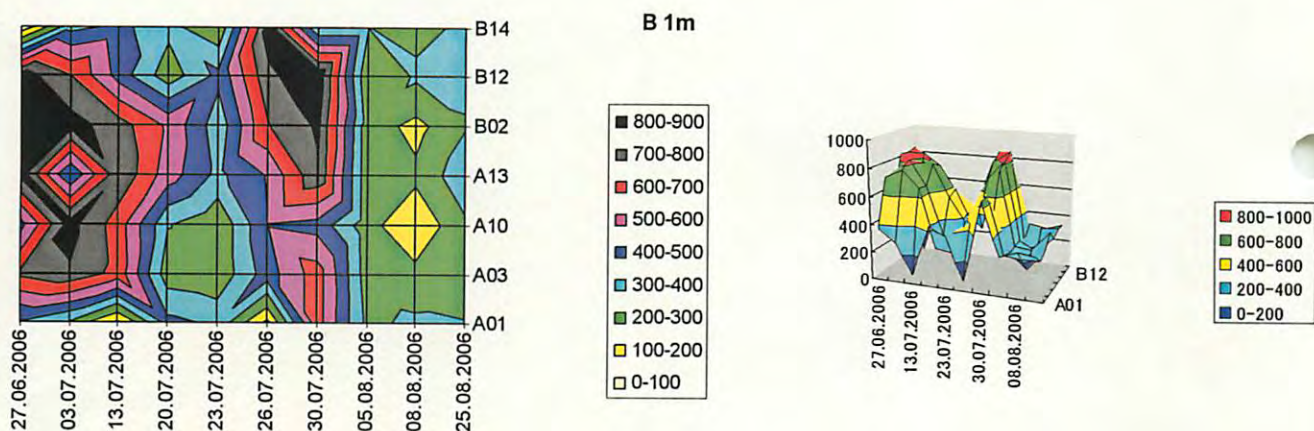


図4. 底層から1 mにおける全鉄濃度分布

6月27日と7月20日の雨の日の直後では、沿岸近くの浅いところと沖合いの深いところに高濃度の全鉄が観測された。これは、雨により河川から供給された鉄が沿岸から沖合いに向けて、表層から徐々に鉄が沈降していくことを示唆している。

一方、降雨後7月25日から8月10日までの2週間の間の晴天で高温の時、特に7月30日ごろには沿岸の浅いところと、沖合いの深いところで高い鉄の濃度が観測された。このよう現象はイオン性鉄には観測されなかった。<sup>9</sup> 別の要因を考えなければならない。



Iron(05.082006)

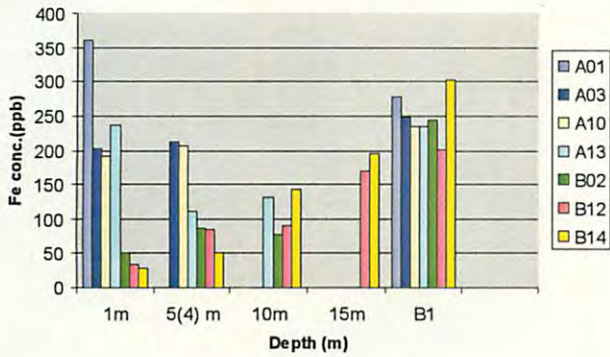


図5. 深さごとの鉄の濃度変化

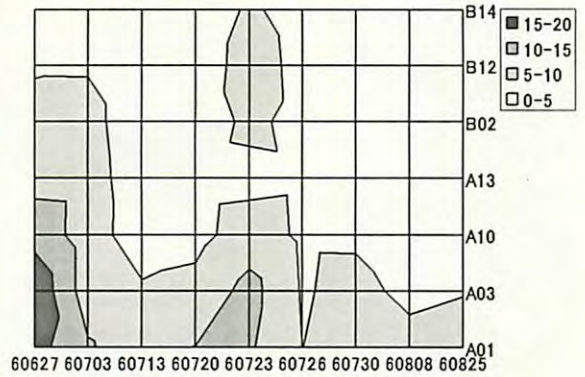


図6. 濁度の分布

(2) 濁度と鉄の濃度

有明海の主要な鉄の供給源は河川からの流入であると考えられる。図6には有明海の測定期間中の濁度を示す。図3を図2および6と比較すると、7月30日以外はその類似性が明確である。これらの図の比較より、有明海の鉄の濃度は河川から降雨による流入量に強く依存しているが、7月30日は濁度も少ない。

(3) 溶存酸素と鉄の濃度

図7には降雨による溶存酸素濃度分布を示す。6月27日と7月20日の雨に河川からの酸素供給よりも、晴天時期の7月30日に表層では沿岸地域を初めとして沖合いに向かって酸素濃度が高くなっている。一方底層(図7 b, c)では7月30日以降は広い範囲で貧酸素が起きている。

図3に示すように、7月30日近くの沿岸部の表層における鉄の高い濃度は酸素濃度と関係つけられる(図7 a)。夏の雨の後晴天が続くと、赤潮が発生しやすいといわれている。しかし、この時期には赤潮の発生は見られなかった。高酸素濃度の発生は植物プランクトンの発生による光合成が考えられる。従って、2006年の夏における植物プランクトンの発生量から考察した。図8には植物プランクトンSkeketonema costatumの発生量を示す。7月30日から8月5日にかけて、沿岸部の表層と底層部にプランクの発生が観測された。夏の降雨後の晴天時における高い溶存酸素濃度は、プランクトンによる光合成の結果であると考えた。従って、この時期の高い鉄はプランクトンに結合した、あるいは摂取されたものと考えられる。

鉄はプランクトンの発生を促進するといわれているが、今回はじめて、晴天時に表層における高い鉄濃度をプランクトンの発生量と酸素濃度と関係付けることができた。一方底層でもプランクトンの発生が見られた。

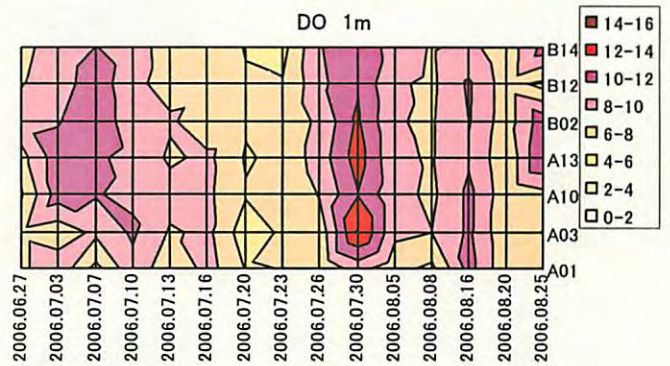


図7(a). 表層1mにおける溶存酸素濃

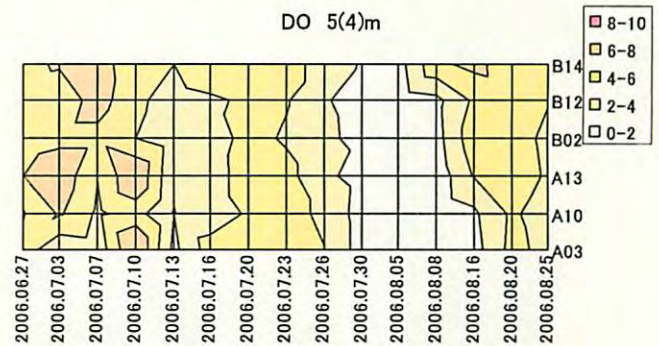


図7(b). 表層から5(4)mにおける溶存酸素

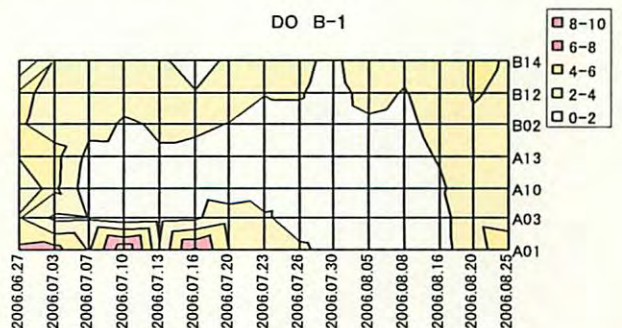


図7(c). 底層から1mにおける溶存酸素



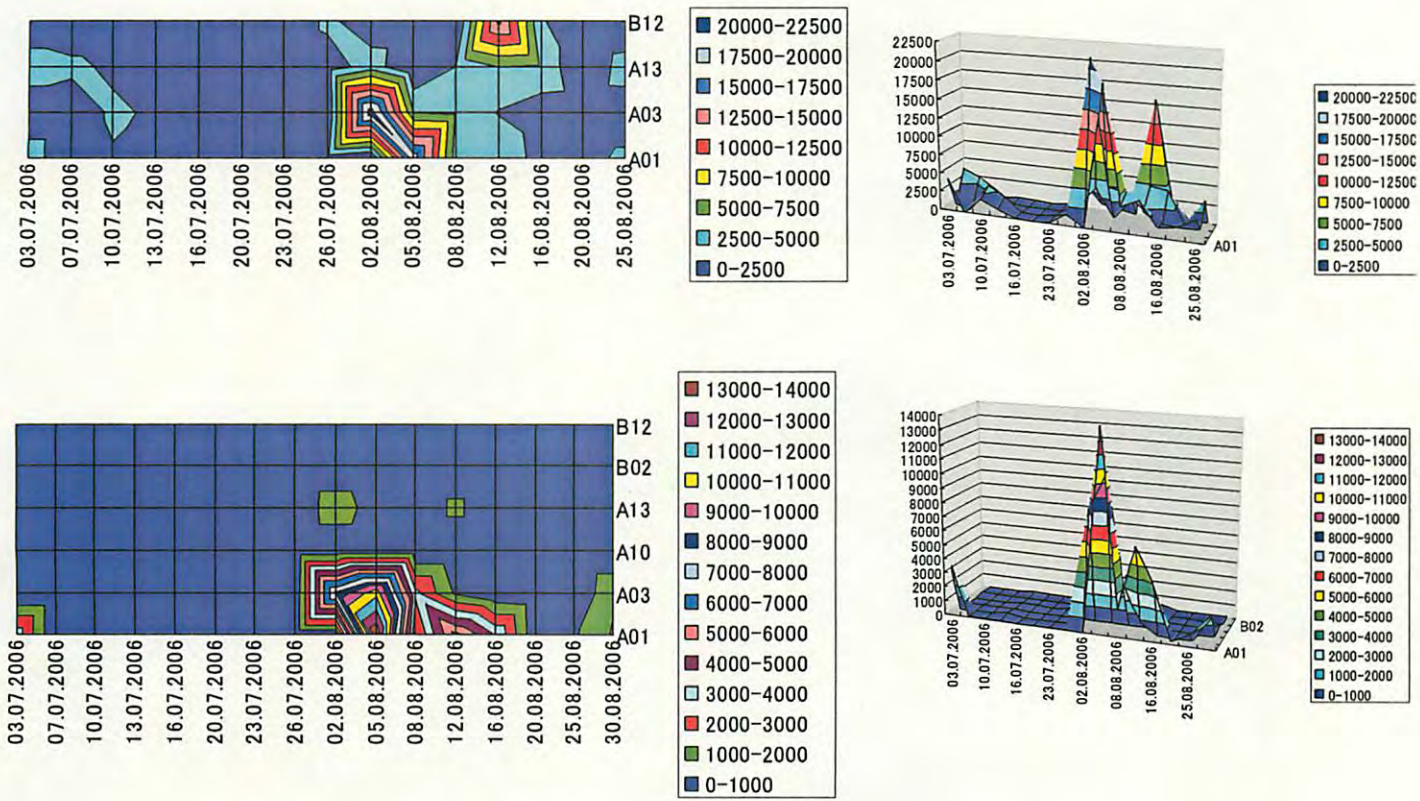


図8. 表層（上）および底層（下）におけるプランクトン（Skeketonema costatum）発生量

底層では酸素濃度が低いので、表層で発生したプランクトンが死亡し沈降浮遊しているものと考えた。しかし、鉄の濃度の濃度は沖合いの底層でも高い値を示しているため、これは次に述べる貧酸素水塊と関係が深い。

(4) 貧酸素水塊と鉄の濃度

測定期間中には大規模な貧酸素水塊が発生した<sup>10)</sup>。降雨量が多いと表層と底層において密度差により海水において躍層が生じ、底層の酸素濃度が低くなる。更には、小潮時においても沖合いからの高塩分水の流入は底層の酸素濃度を減少させる<sup>9)</sup>。溶存酸素濃度が減少すると還元状態になり、鉄が底泥より溶出すると考えられる。溶存酸素濃度の低下による貧酸素水塊と溶存鉄濃度の分布を比較するために貧酸素状態がもっとも深刻化した7月30日のデータの空間分布を図9に示す。先に述べたように、降水後海水表面の酸素濃度は増大する。夏季の大量の降雨は海水の階層化をもたらし、底層への酸素供給が減少している。酸素濃度の減少は、海底の還元状態を一層進める。その結果、還元環境で

は底泥からの鉄の溶出が促進される。全鉄の濃度は、7月30日に沖合い20 km、深度20mまで高い濃度を示す

ようになった(図4)。

4. まとめ

本研究において、鉄濃度は700ppb~30ppbの範囲で存在した。降雨による出水で河川から海水へ鉄が供給される。表層では沿岸部で高い濃度を示した。深いところでは、沖合いまで高い濃度が見られた。出水により供給された鉄は、表層では沿岸部で高くなり、次第に沈降して沖合い深いところでまで高い濃度を示した。一方、出水によらない降雨後の夏の晴天時に、沿岸部の表層と、底泥1 mでは沖合いまで高い鉄の濃度が観測された。この時期には沿岸部の表層部で、酸素濃度とプランクトンの量が多く、プランクトン発生による溶存酸素と増大とプランクトンに摂取された鉄が増大した。また、沖合いの底では貧酸素水塊が発生し、鉄の溶出が起こったと考えられる。しかし、沖合いの底には死亡したプランクトンはそれほど多く観測されなかった。



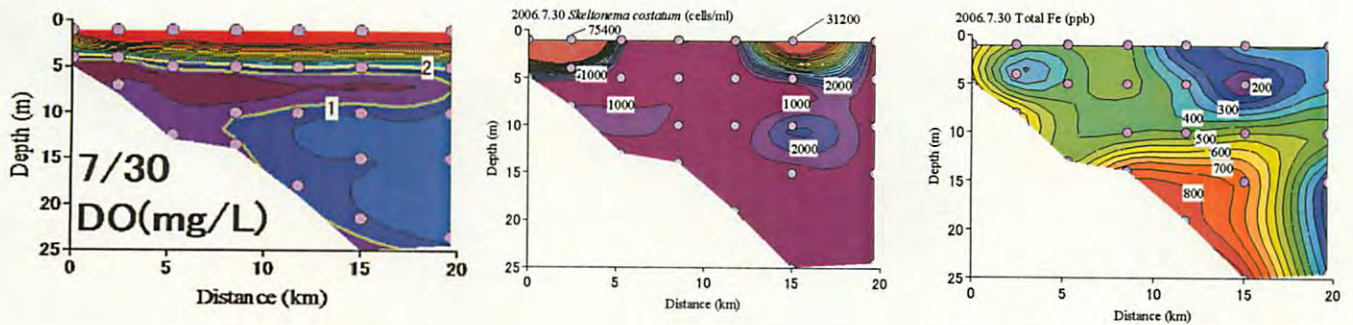


図9. 7月30日溶存酸素(左)、プランクトン(中央)、鉄(右)の空間分布

以上の結果から、今回初めて、降雨後の晴天時に、沿岸近くで、高濃度の鉄とプランクトンの発生と、溶存酸素の増大を観測した。また、沖合いの深いところで起こる貧酸素水塊で底泥からの鉄の溶出を確認することができた。昨年度の可溶性鉄の測定ではこのような明確な結果を得ることができなかった。海水中の鉄は、高分子やプランクトン、及び底泥成分(珪酸塩)と結合している。2006年夏季については、シヤトネラの発生は観測されなかったが、スケトネマの発生を鉄が促進していることが明らかになった。また、沖合いの深いところの貧酸素水塊の形成は鉄の溶出を促進することを指示するデータを得ることができた。

ノリの成長に対する鉄の寄与を直接観測することができなかったが、沿岸域の高濃度の鉄はプランクトンの発生とともにノリの生長にも影響していると考えられる。

謝辞：本研究2の一部は有明海再生機構助成で実施された。厚くお礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 佐々木克之：水底質変化—ノリ漁場栄養塩・調整池水質と諫早湾水質・有明海奥部貧酸素—。「有明海の生態系再生をめざして」, 日本海洋学会編, 恒星社厚生閣, 69-94, 2006.
- 2) 環境省：有明海・八代海総合調査評価中間取りまとめ, <http://www.env.go.jp/info/iken/h180328a/index.html>, 環境省, pp. 139, 2006.
- 3) 瀬口昌洋・郡山益美・石垣哲寛・加藤治：有明海湾奥部西岸域における貧酸素水塊の発生機構の解明とその防止法に関する研究, 佐賀大学有明海総合研究プロジェクト成果報告集, Vol. 1, pp. 7-14., 2005.
- 4) 瀬口昌洋・郡山益美・石垣哲寛・古賀あかね：有明海湾奥部における干潟域の脱窒と西岸域の貧酸素水塊の発生について, 佐賀大学有明海総合研究プロジェクト成果報告集, Vol. 2, pp. 47-54, 2006.

5) 木元克則・田中勝久・中山哲巖・興石祐一・渡辺康憲・西村耕・藤井明彦・山本憲一：連続広域観測で捉えた有明海の貧酸素水塊の動態, 2004年度日本海洋学会春季大会講演要旨集, pp. 191, 2004.

6) 内藤佳奈子・藻類, Vol. 54, 177-180 (2006).

7) Knako Naito, Ichiro Imai and Hiroyuki Nakahara: Complexation of Iron by microbial siderophores and effects on the growth of marine microalgae causing red tides, *Phycological Research*, Vol.56, pp. 58-87 (2008).

8) 速水祐一・有明海奥部の貧酸素水塊—形成機構と長期変動—, *海洋*, Vol. 39, pp.22-28, 2006.

9) 田端正明・大久保壮志・速水祐一・濱田孝治：2006年度夏季における有明海湾奥部海水中的の貧酸素水塊と鉄の濃度変化、佐賀大学有明海総合研究プロジェクト成果報告集, Vol. 3, pp. 55-60 (2007).

10) 濱田孝治・速水祐一・山本浩一・吉野健児・大串浩一郎・平川隆一・山田裕樹：有明海奥部における貧酸素水塊の形成・解消過程の観測, *海岸工学論文集*, 54 pp. 1121-1125, 2007.