

赤潮の発生件数の増加・大規模化
に関する知見の整理、検討

平成 1 8 年 9 月
赤潮検討グループ

1. 長期的な水温の上昇

【原因・要因として指摘されている事項】赤潮全般

「第2回有明海・八代海総合調査評価委員会」資料3-1 八代海域における環境保全の在り方」において、『データの得られた1980年代以降、年平均気温、年最低水温は上昇傾向にあることから、海水温の上昇が赤潮の発生に關与している可能性があると考えられる。』に基づき、有明海においても水温上昇がみられることから原因・要因として追加した。

(赤潮プランクトンの発生水温)

- 珪藻、渦鞭毛藻、ラフィド藻の発生水温域は、各々、6 ~ 28、8 ~ 28 程度(25前後で出現細胞数が多い)、20 ~ 30 である(資料1)。

(水温の上昇と赤潮プランクトン増殖速度)

- 一般的に水温の上昇により植物プランクトンの増殖速度は増加することが知られている。水温上昇の影響は種類毎に異なり、主要な赤潮プランクトンに關し、水温と成長速度のモデル式が作成されている。

(例) *Chattonella antiqua*

$$\mu = 9.34751 - 1.49979 \cdot T + 0.07380 \cdot T^2 - 0.00117 \cdot T^3 - 0.00001 \cdot S^3 + 0.00389 \cdot T \cdot S - 0.00003 \cdot T \cdot S^2 - 0.00003 \cdot T^2 \cdot S \quad [T: \text{水温}, S: \text{塩分}]$$

- Chattonella* 属は、水温が9 ~ 10 以下にならないとシストが成熟しないとの報告があり、増殖に低水温が必要となる種も存在する(なお、有明海、八代海とも冬季の水温は9度以下となる)。

(長期的な水温の上昇と植物プランクトンの増殖速度)

- 1984 ~ 1989 年の間と 1997 ~ 2003 年の間における有明海の各県水域の水温、塩分(当該期間の表層の平均値)を用い、*Skeletonema costatum*、*Chattonella antiqua* 及び *Gymnodinium mikimotoi* のモデル式から増殖速度を算出し、比較した(資料2)。
- また、水温一定として、塩分の経年変化のみを上記のモデル式に入れて計算した結果、増殖速度は殆ど変化なく、塩分の影響は小さいことが確認された(資料2 -)。

(計算結果)

(1) *Skeletonema costatum* (珪藻)

増殖速度は冬季に増加。福岡県、佐賀県水域では各々15%、11%、長崎県・熊本県で2 ~ 3%の増加。冬季以外の季節の増殖速度は1 ~ 7%の減少。

(2) *Chattonella antiqua* (ラフィド藻)

各県水域とも、春季、秋季の増殖速度が10 ~ 38%の増加。夏季の増殖速度に明確な傾向はみられない。

(3) *Gymnodinium mikimotoi* (渦鞭毛藻)

各水域とも、春季、秋季の増殖速度が8～25%の増加。夏季の増殖速度は2～5%の減少。

- ・ 八代海においても、同様の計算を行った結果は以下のとおり（資料3）。
 - (1) *Skeletonema costatum*（珪藻）
冬季の増殖速度が2～4%増加。他の時期は1～3パーセント減少。
 - (2) *Chattonella antiqua*（ラフィッド藻）
各水域とも、春季、秋季の増殖速度が4～21%の増加。
 - (3) *Gymnodinium mikimotoi*（渦鞭毛藻）
各水域とも、春季、秋季の増殖速度が4～19%の増加。

整理

赤潮プランクトンは、種類により程度は異なるが、一般的に水温の上昇により増殖速度が増加する。

経年的な水温上昇を代表的な植物プランクトンの増殖モデル式に入れて計算したところ、多くの場合、増殖速度は一定程度増大する結果となった。水温上昇は、赤潮発生の増加の一つの要因と考えられる（B+）

他方、海域、時期及びプランクトンの種類によっては増殖速度がほとんど変わらない若しくは減少する結果となり、水温上昇以外の要因の存在も示唆された。

なお、水温の変化に伴う赤潮プランクトンの増殖速度は、計算条件によりその結果が異なることに留意が必要である。

<参考資料>

- 1) 中嶋雅孝, 横山佳裕, 内田唯史, 中野拓治, 中西弘 (2005) 「有明海における冬季のノリ及び赤潮プランクトンの増殖特性」水環境学会誌 VOL.28 NO.5;PAGE.339-345
- 2) 山口峰生, 今井一郎, 本城凡夫(1991) 「有害赤潮ラフィッド藻 *Chattonella antiqua* と *C.marina* の増殖速度に及ぼす水温、塩分及び光強度の影響」日本水産学会誌, Vol.57, No.7, pp.1277-1284
- 3) 本城凡夫(2004) 「有明海・八代海における赤潮の発生について」
第12回有明海・八代海総合調査評価委員会 資料4

2. 透明度の上昇

【原因・要因として指摘されている事項】珪藻

- ・最近の赤潮・貧酸素水塊の頻発、ベントスの減少、ノリの色落ち現象等は、潮流の流速低下による浮泥濃度の低下と透明度の上昇により植物相の卓越種が付着珪藻から浮遊性の珪藻にシフトされたことによると考えられた。

『出典：杉本隆成[東京大学海洋研究所]，田中勝久[(独)水産総合研究センター中央水産研究所]，佐藤英夫[(株)ファイ・ラムダ](2004)：有明海奥部における浮泥の挙動と低次生産への影響，沿岸海洋研究，VOL.42，NO.1，pp.19-25』

(植物プランクトンの増殖と透明度の関係)

- ・透明度上昇は、光制限を緩和し、植物プランクトンの増殖に有利に働くと一般的には考えられる。透明度と植物プランクトンの増殖については以下の関係が示されている。

表 3-1-3 植物プランクトンの光による成長制限及び1週間後の増加率と透明度，混合層水深，捕食や移流拡散による減耗との関係（水温は27℃，昼の長さは14時間，栄養塩制限は考慮しない。）

混合層水深(m)	3	4	5	7	10	3	4	5	7	10	3	4	5	7	10	3	4	5	7	10	
透明度(m)	消散係数(m ⁻¹)	光による成長制限					1週間後の増加率(減耗なし)					1週間後の増加率(減耗率1日あたり20%)					1週間後の増加率(減耗率1日あたり30%)				
14.50	0.10	0.49	0.46	0.47	0.46	0.43	15283	14289	12980	9959	5850	6002	5611	5087	3911	2301	2040	1907	1733	1329	782
9.67	0.15	0.45	0.47	0.46	0.44	0.39	14335	12439	10221	6122	2417	5629	4885	4014	2404	949	1913	1660	1364	817	323
7.25	0.20	0.46	0.46	0.45	0.41	0.35	13153	10387	7591	3502	983	5165	4083	2981	1375	386	1758	1388	1013	467	131
5.80	0.25	0.47	0.45	0.43	0.39	0.32	11834	8414	5420	1957	428	4647	3304	2128	768	168	1580	1123	723	261	57
4.83	0.30	0.47	0.44	0.42	0.36	0.29	10463	6643	3780	1103	206	4109	2609	1484	433	81	1397	887	505	147	27
3.63	0.40	0.45	0.42	0.38	0.32	0.24	7828	3948	1795	386	64	3074	1850	705	152	25	1045	527	240	52	9
2.90	0.50	0.44	0.40	0.35	0.28	0.20	5598	2276	871	159	27	2198	894	342	63	11	747	304	116	21	4
2.42	0.60	0.42	0.37	0.33	0.25	0.18	3875	1311	446	77	15	1522	515	175	30	6	517	175	59	10	2
2.07	0.70	0.41	0.35	0.30	0.23	0.16	2628	768	243	43	9	1032	301	95	17	4	351	102	32	6	1
1.93	0.75	0.40	0.34	0.29	0.21	0.15	2154	593	184	33	8	846	233	72	13	3	288	79	25	4	1
1.81	0.80	0.39	0.33	0.28	0.21	0.14	1762	451	141	26	6	692	181	56	10	2	235	62	19	3	1
1.61	0.90	0.37	0.31	0.26	0.19	0.13	1177	286	87	17	5	462	112	34	7	2	157	38	12	2	1
1.45	1.00	0.36	0.29	0.24	0.17	0.12	780	180	56	12	4	308	71	22	5	1	104	24	7	2	0
1.32	1.10	0.34	0.27	0.22	0.16	0.11	491	108	35	8	3	193	43	14	3	1	66	14	5	1	0
1.21	1.20	0.32	0.25	0.21	0.15	0.10	314	69	23	6	2	123	27	9	2	1	42	9	3	1	0
1.12	1.30	0.30	0.24	0.19	0.14	0.10	205	46	16	5	2	81	18	6	2	1	27	6	2	1	0
1.04	1.40	0.28	0.22	0.18	0.13	0.09	139	32	12	4	2	54	13	5	2	1	19	4	2	1	0
0.97	1.50	0.27	0.21	0.17	0.12	0.08	95	23	9	3	1	38	9	4	1	1	13	3	1	0	0

出典：有明海における干拓事業漁業被害原因裁定申請事件 専門委員報告書（平成16年12月）

(有明海・八代海における透明度の上昇と植物プランクトンの増殖)

- ・有明海、八代海の平均透明度は、ほとんどの海域で上昇が認められる（資料4）。例えば、有明海の熊本県海域の夏季（7～9月）の透明度は、3.6m（1984～1989年の平均値）から4.7m（1997～2003年）に上昇しており、これを上記の表3-1-3に照合すると、増加率は3割程度の増大となった。

【熊本水域の透明度】

3.6m(1984～1989)

4.7m(1997～2003)

【表3.1.1の透明度と1週間後の増加率^(注)】

透明度 3.63m 増加率 1045(%)

" 4.83m " 1397(%)

(注) 混合層水深(植物プランクトンが均一に分布する仮想的な水深)を3 m、減耗率を30%とした。

(有明海における透明度の上昇率と赤潮発生)

- ・ 有明海において透明度の上昇率の高い海域において赤潮の発生日数が増加していることが指摘されている(資料5)。

整理

一般的に透明度の上昇は、植物プランクトンの増殖にかかる光制限を緩和し、その増殖を促進させる。有明海・八代海では、ほとんどの海域で透明度が上昇しており、透明度の上昇によって植物プランクトンの増加に有利に働いていると考えられる。また、実際に有明海では透明度の上昇率の大きい海域で赤潮発生日数も増加したとの報告がある。これらのことから、透明度の上昇は赤潮の発生の増加の要因の一つと考えられる(B+)。

なお、赤潮プランクトンは、その種類により光制限を含む生理・生態的特性が異なることから、種類別に分けて、さらに検討を進めていくことが望ましい。

3. 富栄養化、貧酸素水塊

【原因・要因として指摘されている事項】赤潮一般

- ・諫早湾の底質が悪化（諫早湾調整池と堤防外側の浮泥の堆積、有機炭素含有量や強熱減量を用いて判断）し、また窒素やリン負荷の増加（表2参照）によって赤潮が多発するようになった。
- ・図7に示すように、諫早湾中央部 B3 では明らかに 1995 年（平成 7 年）から COD 値が上昇してきて、その値は調整池内の B1 と B2 の間の値となっており、湾中央部では両方の底質の影響がみられた

『出典：佐々木克之(2003)：調整池による浄化機能の喪失とその影響，沿岸環境関連学会連絡協議会 第 10 回ジョイントシンポジウム「有明海生態系異変原因解明の到達点」, pp.24-31』

図 7

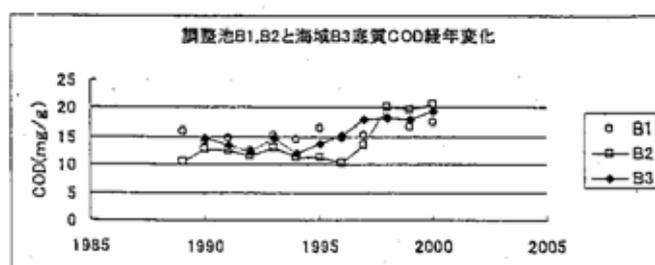


表 2.調整池からの汚濁負荷量 (t/y) (90-96 は干潟域からの負荷量)

	90-96	97	98	99	00	01	02
SS	(6325)	29419	23302	37252	28514	28382	18396
GOD	1046	4840	3058	4277	2330	2187	2073
TN	178	797	684	897	417	358	330
TP	78	123	121	145	67	62	55

【原因・要因として指摘されている事項】珪藻

- ・大規模な赤潮を発生させ、深刻な漁業被害をもたらす背景としては、海域環境の悪化、特に海水の富栄養化が考えられる。栄養塩濃度がある程度以上に高い場合に、気象・海象条件が整うと植物プランクトンが大繁殖し赤潮が発生する。

『出典：磯部雅彦[東大大学院新領域創成科学研究科] (2001)：有明海における水環境の現状，水環境学会誌，Vol.24, No.10, pp.659-664』

【原因・要因として指摘されている事項】鞭毛藻類（渦鞭毛層・ラフィド藻）

- ・諫早湾では潮受堤防を境にして赤潮発生記録が増加している（締め切り前の 10 数年間で 14 件、締め切り後の 6 年間で 33 件）。諫早湾で発生する赤潮は、潮受堤防内側の調整池や養殖用ノリ活性剤に起因すると考えられる富栄養化海水の流入、さらに諫早湾での海水の流速低下に伴う表層海水の攪拌の減少とともに、貧酸素水塊が出現することにより堆積物表層から栄養塩の溶出がその誘因として作用していることが示唆されている。

『出典：松岡敷充[長崎大水産] (2003)：有明海的环境と生物生産 諫早湾における赤潮原因プランクトンの最近の変化，月刊海洋，VOL.35 NO.4, pp.246-251』

(1) (栄養塩の流入について)

- ・ 降雨等による淡水及び栄養塩類の流入が珪藻等の赤潮発生につながるとの報告が多くなされているが、有明海、八代海に流入する主要河川の流量に明確な経年傾向は認められず、流入負荷量もほぼ横ばいで推移。また、水質の栄養塩濃度 (DIN、DIP) についても近年増加傾向はみられない (資料 6)。
- ・ 富栄養度指数をみると、有明海湾奥 (佐賀県、福岡県) の近年の水質は、富栄養化により赤潮が急増した 1970 年代の瀬戸内海 (大阪湾、播磨灘) に匹敵すると指摘されている (資料 7)。

(2) (底泥からの栄養塩の供給)

- ・ 有明海湾奥西部の海域については、夏季に貧酸素水塊が発生するとともに、底層 DO 濃度の経年的な低下傾向が示唆され、硫化物濃度も増加傾向を示している (資料 8)。
- ・ また、諫早湾の底質の全窒素と全燐濃度は、以前の大阪湾や東部三河湾に匹敵するほどの富栄養化度を示し (資料 9) 夏季に貧酸素水塊が発生している。
- ・ *Chattonella antiqua* 等の赤潮には、富栄養化した流速の低い海域における貧酸素水塊の形成、底泥からの栄養塩の供給等の環境条件が必要とされている。

(3) (底泥からの鉄の供給について: *Chattonella* 属)

- ・ 鉄が *Chattonella* 属の増殖を促進することが知られている (資料 10)。貧酸素水塊の形成により底泥から鉄が溶解し、貧酸素水塊の崩壊で窒素や燐と一緒に鉄が供給され、*Chattonella* 属の増殖が促進される。

< 参考資料 >

- 1) 滝川清, 田中建路, 外村隆臣, 西岡律恵, 青山千春 (2003) 「有明海の過去 25 年間における海域環境の変動特性」海岸工学論文集第 50 巻; PAGE. 1001-1005 資料)
- 2) 古賀秀昭 (1991): 有明海北西海域の底質及び底生生物, 佐賀県有明水産試験場研究報告, 13 号, pp. 57-79
- 3) 大隈斉, 江口泰蔵, 川原逸朗, 伊藤史郎 (2001): 有明海湾奥部の底質及びマクロベントス, 佐賀県有明水産振興センター研究報告, 20 号, pp. 55-62
- 4) 研究成果第 432 集「有明海の海洋環境の変化が生物生産に及ぼす影響の解明」(平成 17 年 3 月, 農林水産省農林水産技術会議事務局編) pp. 43-76
- 5) 本城凡夫 (2004) 「有明海・八代海における赤潮の発生について」第 12 回有明海・八代海総合調査評価委員会 資料 4

整理

近年有明海・八代海における河川流量、栄養塩類に増加傾向は認められず、栄養塩の流入と赤潮の増加との関係については、陸域からの影響を大きくする他の要因を含めて検討が必要である (B)。なお、有明海湾奥部はすでに富栄養化した海域であって赤潮が発生しやすい環境条件を備えていると考えられる。

また、有明海湾奥部、諫早湾の底層においては貧酸素水塊によって底泥からの栄養塩及び鉄が溶出し、シャットネラ赤潮の増加につながっていることが考えられる (B+)。

4 . 浄化能力の低下

【原因・要因として指摘されている事項】赤潮全般

- ・冬季赤潮の発生が増加した要因として、栄養塩類の増加と光環境の良化が考えられるが、後者に関連する成層の発達に対して堰の建設による潮汐の弱化で起る可能性がある。さらに、河川からの土砂流入の減少、干潟の減少に伴う浮遊懸濁物の減少による有光層の深化もその要因と考えられる。また、減少速度の低下は底生生物の減少によって起る可能性もある。しかし、いずれの仮定に関しても、現時点では定性的な議論しかできず、今後の研究が必要であろう。

『出典：石坂丞二[長崎大水産] (2003)：有明海の環境と生物生産 宇宙から見た有明海の赤潮，月刊海洋，Vol.35, No.4, pp.271-275』

(アサリ、二枚貝の濾水量、窒素除去について)

- ・有明海(容積 340 億 m^3)の 1990 年以前の二枚貝による一日当たりの濾水量(夏季)は、4-10 億 m^3 であり、大潮時の干潟への海水交流量に匹敵したと推定され、アサリの最盛期における濾水量は 4-6 億 m^3 であったとされる。これに対し、1996~2000 年ではアサリは 10 分の 1，二枚貝全体は 6 分の 1 以下に減少し、懸濁物除去能力は大きく低下したとされている(資料 1 1)。

(資料)研究成果第 432 集「有明海の海洋環境の変化が生物生産に及ぼす影響の解明」(平成 17 年 3 月，農林水産省農林水産技術会議事務局編) P76-

(懸濁物食性二枚貝の食物資源について)

- ・有明海で採取した二枚貝の炭素同位対比を分析した結果、有明海の二枚貝は、概ね海洋性プランクトンを摂餌、同化しているとの報告がある。
- ・他方、緑川干潟におけるアサリの食物利用性の調査から、アサリの生産量と底生微細藻類現存量の変化が良い一致を示したこと(主要食物は底生微細藻類であった)懸濁物食性二枚貝にとって植物プランクトンと底生微細藻類、どちらが重要な食物なのかについての一般性の高い回答を得るにはより多くの海域での知見が不可欠であることが指摘されている(資料 1 2)。

整理

アサリ等の二枚貝の減少は懸濁物の除去能力を低下させ、海域の浄化能力の低下、富栄養化を招き、赤潮を増大させる要因の一つと考えられる(B+)。

二枚貝による赤潮原因種の植物プランクトンの摂餌による赤潮発生の抑止について評価するには、アサリ等の二枚貝の主要食物について更なる調査が必要であろう(B)。

5 . 潮流の低下・潮位差の減少・平均潮位の上昇

【原因・要因として指摘されている事項】鞭毛藻類（渦鞭毛藻・ラフィド藻）

諫早湾では潮受堤防を境にして赤潮発生記録が増加している（締め切り前の 10 数年間で 14 件、締め切り後の 6 年間で 33 件）。諫早湾で発生する赤潮は、潮受堤防内側の調整池や養殖用ノリ活性剤に起因すると考えられる富栄養化海水の流入、さらに諫早湾での海水の流速低下に伴う表層海水の攪拌の減少とともに、貧酸素水塊が出現することにより堆積物表層から栄養塩の溶出がその誘因として作用していることが示唆されている。

『出典：松岡敷充[長崎大水産](2003)：有明海の環境と生物生産 諫早湾における赤潮原因プランクトンの最近の変化，月刊海洋，VOL.35 NO.4，pp.246-251』

【原因・要因として指摘されている事項】赤潮全般

有明海の環境変化としては、水質浄化機能（生物の生息場である干潟としている）の喪失と負荷の増大、流動（潮位・流速・流向）の変化、赤潮の増加、貧酸素水塊の発生、タイラギ・アサリ等の減少、成育不良及び稚貝の斃死、諫早湾の底質の変化と底生生物の減少、が指摘されている。このうち主要な変化は と で、これらが引き金となり残りの 4 項目が変化し、全体として有明海生態系が変化したと想定される。

『出典：東幹夫[長崎大教育]（2002）：環境保全の現状 29 有明海異変と諫早干拓主因仮説，生物の化学遺伝，Vol.56，No.6，pp.80-85』

潮流の低下・潮位差の減少・平均潮位の上昇と赤潮発生の増加に関連する知見として、有明海においては、潮位差の少ない小潮期にシャットネラ赤潮が多く見られるとの報告がある（資料 1 3）

また、有明海湾奥部におけるクロロフィル色素量については、小潮から中潮にかけて増大する場合が多いとされている（資料 1 4）。

整理

経年的な潮流の低下・潮位差の減少・平均潮位の上昇が赤潮発生の増加につながっているとの科学的な根拠を示した知見はみつけないことができなかったが、流動が弱まり、海水が滞留しやすくなると、赤潮が発生しやすくなることは一般的に言えると考えられる。このことは有明海の小潮時にシャットネラ赤潮の発生が多いことやクロロフィルの増加が見られるとの報告と一致する。

経年的に潮流低下、潮位差減少が生じている海域においては、赤潮発生が増加するものと考えられる（B+）。

【資料 1】

- ・有明海の赤潮構成植物プランクトンについて、珪藻類の発生水温は低水温域から高水温域まで広く分布し、年間の発生頻度が最も多い種類である。渦鞭毛藻類は 8 前後の水温から発生がみられ、25 前後で出現細胞数が多く、春 - 夏発生型の種類である。ラフィド藻類は、ほぼ 20~30 に発生し、秋~冬季の発生頻度は少ない。珪藻類の発生水温範囲は、渦鞭毛藻類やラフィド藻類と比べ広く、発生水温が高いほど出現細胞数は増加する傾向がみられる (Fig.9)。
- ・一般にノリや植物プランクトンの成長速度 (増殖速度) は以下の式で示される。

$$G = G_{max} \cdot f(T) \cdot f(I) \cdot f(N,P) \quad (1)$$

G : 成長速度 (増殖速度) (day^{-1})、 G_{max} : 最大成長速度 (最大増殖速度) (day^{-1})、
 f(T) : 水温依存項、f(I) : 照度依存項、f(N,P) : 栄養塩依存項

資料) 中嶋雅孝, 横山佳裕, 内田唯史, 中野拓治, 中西弘 (2005) 「有明海における冬季のノリ及び赤潮プランクトンの増殖特性」水環境学会誌 VOL.28 NO.5; PAGE.339-345

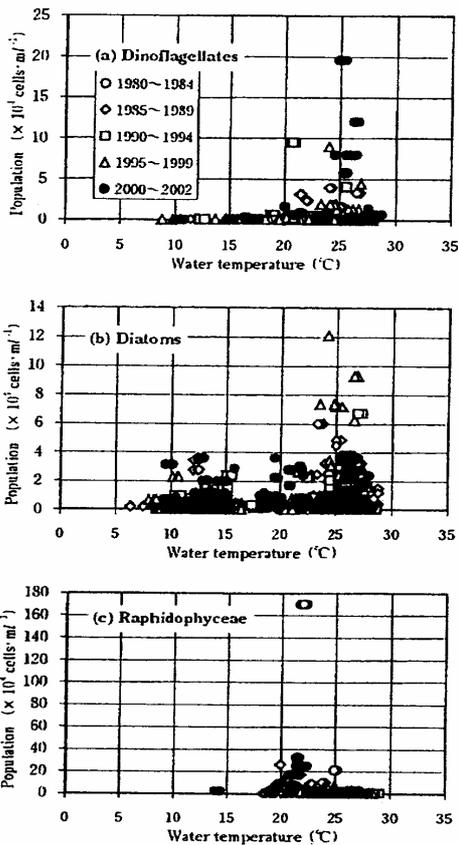


Fig. 9 Relationship between water temperature and phytoplanktons; (a)Dinoflagellates, (b)Diatoms, and (c)Raphidophyceae.

Table 1 Comparison of growth rate. Each value in a parenthesis shows a ratio to the growth rate at 8°C. Growth rate in the table were calculated assuming f(I) and f(N,P) = 1.

	5°C	10°C	15°C	20°C
Dinoflagellates (day^{-1})	0.000	0.004	0.070	0.212
Diatoms (day^{-1})	0.132	0.438	0.611	0.599
Raphidophyceae (day^{-1})	0.000	0.006	0.155	0.512
Nori laver (day^{-1})	0.101	0.265	0.295	0.230
Nori laver/Diatoms	0.76	0.61	0.48	0.38

	8°C	9°C	10°C	11°C	12°C
Dinoflagellates (day^{-1})	0.001	0.002 (2.9)	0.004 (7.1)	0.009 (15.0)	0.018 (28.3)
Diatoms (day^{-1})	0.319	0.381 (1.2)	0.438 (1.4)	0.488 (1.5)	0.531 (1.7)
Raphidophyceae (day^{-1})	0.001	0.002 (3.5)	0.006 (10.1)	0.015 (24.4)	0.032 (51.2)
Nori laver (day^{-1})	0.212	0.242 (1.1)	0.265 (1.3)	0.283 (1.3)	0.294 (1.4)
Nori laver/Diatoms (A)	0.66	0.63	0.61	0.58	0.55
change ratio of (A) to 1°C rising		-0.05	-0.03	-0.05	-0.05

【資料2 - 2】

有明海 : 84～89年と97～03年の植物プランクトン増殖速度
(変数として水温と塩分を成長式に入れて算出)

水域	対象期間	月	表層平均水温 (T:)	表層平均塩分 (S: -)	<i>Skeletonema costatum</i>		<i>Chattonella antiqua</i>		<i>Gymnodinium mikimotoi</i>	
					増殖速度 (day ⁻¹)	比率	増殖速度 (day ⁻¹)	比率	増殖速度 (day ⁻¹)	比率
福岡県	'84-'89	4-6月	18.4	28.58	0.687	-	0.517	-	0.536	-
		7-9月	26.0	26.39	0.505	-	1.085	-	0.783	-
		10-12月	17.1	29.82	0.693	-	0.432	-	0.442	-
		1-3月	9.8	29.88	0.473	-	1.161	-	0.106	-
	'97-'03	4-6月	19.1	28.90	0.678	0.99	0.585	1.13	0.578	1.08
		7-9月	27.1	27.22	0.472	0.93	1.082	1.00	0.743	0.95
		10-12月	18.1	29.51	0.688	0.99	0.503	1.16	0.511	1.16
		1-3月	11.0	30.20	0.543	1.15	0.819	0.71	0.126	1.19
佐賀県	'84-'89	4-6月	18.3	28.85	0.687	-	0.513	-	0.530	-
		7-9月	26.3	25.93	0.498	-	1.076	-	0.779	-
		10-12月	17.1	30.30	0.693	-	0.430	-	0.433	-
		1-3月	9.9	30.76	0.476	-	1.135	-	0.099	-
	'97-'03	4-6月	19.0	28.61	0.680	0.99	0.568	1.11	0.571	1.08
		7-9月	26.9	26.27	0.479	0.96	1.072	1.00	0.758	0.97
		10-12月	18.1	29.79	0.689	0.99	0.496	1.15	0.502	1.16
		1-3月	10.7	30.37	0.527	1.11	0.891	0.78	0.117	1.18
長崎県	'84-'89	4-6月	18.2	34.18	0.688	-	0.488	-	0.412	-
		7-9月	25.2	33.37	0.531	-	1.117	-	0.650	-
		10-12月	19.4	33.99	0.674	-	0.605	-	0.484	-
		1-3月	12.3	34.43	0.602	-	0.534	-	0.101	-
	'97-'03	4-6月	18.8	34.09	0.682	0.99	0.540	1.11	0.446	1.08
		7-9月	26.0	33.30	0.507	0.96	1.136	1.02	0.638	0.98
		10-12月	20.2	33.87	0.661	0.98	0.685	1.13	0.525	1.09
		1-3月	12.8	34.18	0.622	1.03	0.470	0.88	0.126	1.25
熊本県	'84-'89	4-6月	18.4	31.46	0.686	-	0.526	-	0.495	-
		7-9月	25.6	29.01	0.517	-	1.118	-	0.765	-
		10-12月	19.1	32.13	0.679	-	0.581	-	0.516	-
		1-3月	12.1	32.53	0.592	-	0.598	-	0.128	-
	'97-'03	4-6月	19.0	31.11	0.680	0.99	0.574	1.09	0.533	1.08
		7-9月	26.4	30.09	0.494	0.95	1.132	1.01	0.725	0.95
		10-12月	19.9	31.75	0.667	0.98	0.662	1.14	0.569	1.10
		1-3月	12.4	31.80	0.604	1.02	0.562	0.94	0.150	1.18

注) 1. 表層平均水温、平均透明度は各県の浅海定線調査を用いて算出した。

2. *Skeletonema costatum* の成長速度は以下の式に基づき算出した。

$$\mu = \mu_{\max} \cdot f(T) \cdot f(I) \cdot f(N,P)$$

μ : 増殖速度(day⁻¹) μ_{\max} : 最大増殖速度(day⁻¹) $f(T)$: 水温依存項 $f(I)$: 照度依存項
 $f(N,P)$: 栄養塩依存項

なお、上表では $f(I)$ と $f(N,P)$ を 1 として、 $f(T)$ を以下の式より算出した。

$$f(T) = (T / T_{opt} \cdot \exp(1 - T / T_{opt}))^3$$

3. *Chattonella antiqua*、*Gymnodinium mikimotoi* は以下の式に基づき算出した。

[*Chattonella antiqua*]

$$\mu = 9.34751 - 1.49979 \cdot T + 0.07380 \cdot T^2 - 0.00117 \cdot T^3 - 0.00001 \cdot S^3 + 0.00389 \cdot T \cdot S - 0.00003 \cdot T \cdot S^2 - 0.00003 \cdot T^2 \cdot S$$

[*Gymnodinium mikimotoi*]

$$\mu = 1.05753 - 0.30220 \cdot T + 0.01777 \cdot T^2 - 0.00035 \cdot T^3 + 0.00515 \cdot T \cdot S - 0.00010 \cdot T \cdot S^2$$

4. 比率 = ('97-'03の最大成長速度[増加率]) / ('84-'89の最大成長率[増加率]) である。

資料) 1. 中嶋雅孝, 横山佳裕, 内田唯史, 中野拓治, 中西弘(2005) 「有明海における冬季のノリ及び赤潮プランクトンの増殖特性」水環境学会誌, Vol.28, No.5, pp.339-345

2. 山口峰生, 今井一郎, 本城凡夫(1991) 「有害赤潮ラフィド藻 *Chattonella antiqua* と *C.marina* の増殖速度に及ぼす水温、塩分及び光強度の影響」日本水産学会誌, Vol.57, No.7, pp.1277-1284

3. 山口峰生, 本城凡夫(1989) 「有害赤潮鞭毛藻 *Gymnodinium nagasakiense* の増殖に及ぼす水温、塩分及び光強度の影響」日本水産学会誌, Vol.55, No.11, pp.2029-2036

【資料2 - 2】

有明海 : 84～89年と97～03年の植物プランクトン増殖速度
(水温一定、塩分を変数として成長式に入れて算出)

水域	対象期間	月	表層平均水温 (T: °C)	表層平均塩分 (S: ‰)	<i>Chattonella antiqua</i>		<i>Gymnodinium mikimotoi</i>	
					増殖速度 (day ⁻¹)	比率	増殖速度 (day ⁻¹)	比率
福岡県	'84-'89	4-6月	18.4	28.58	0.517	-	0.536	-
		7-9月	26.0	26.39	1.085	-	0.783	-
		10-12月	17.1	29.82	0.432	-	0.442	-
		1-3月	9.8	29.88	1.161	-	0.106	-
	'97-'03	4-6月	18.4	28.90	0.518	1.00	0.532	0.99
		7-9月	26.0	27.22	1.099	1.01	0.779	0.99
		10-12月	17.1	29.51	0.431	1.00	0.446	1.01
		1-3月	9.8	30.20	1.158	1.00	0.103	0.97
佐賀県	'84-'89	4-6月	18.3	28.85	0.513	-	0.530	-
		7-9月	26.3	25.93	1.076	-	0.779	-
		10-12月	17.1	30.30	0.430	-	0.433	-
		1-3月	9.9	30.76	1.135	-	0.099	-
	'97-'03	4-6月	18.3	28.61	0.512	1.00	0.532	1.00
		7-9月	26.3	26.27	1.083	1.01	0.778	1.00
		10-12月	17.1	29.79	0.431	1.00	0.441	1.02
		1-3月	9.9	30.37	1.139	1.00	0.103	1.04
長崎県	'84-'89	4-6月	18.2	34.18	0.488	-	0.412	-
		7-9月	25.2	33.37	1.117	-	0.650	-
		10-12月	19.4	33.99	0.605	-	0.484	-
		1-3月	12.3	34.43	0.534	-	0.101	-
	'97-'03	4-6月	18.2	34.09	0.489	1.00	0.415	1.01
		7-9月	25.2	33.30	1.117	1.00	0.653	1.00
		10-12月	19.4	33.87	0.606	1.00	0.488	1.01
		1-3月	12.3	34.18	0.538	1.01	0.106	1.05
熊本県	'84-'89	4-6月	18.4	31.46	0.526	-	0.495	-
		7-9月	25.6	29.01	1.118	-	0.765	-
		10-12月	19.1	32.13	0.581	-	0.516	-
		1-3月	12.1	32.53	0.598	-	0.128	-
	'97-'03	4-6月	18.4	31.11	0.527	1.00	0.502	1.01
		7-9月	25.6	30.09	1.127	1.01	0.743	0.97
		10-12月	19.1	31.75	0.582	1.00	0.525	1.02
		1-3月	12.1	31.80	0.607	1.01	0.139	1.09

注) 1. 表層平均水温、平均透明度は各県の浅海定線調査を用いて算出した。

2. *Skeletonema costatum* の成長速度は以下の式に基づき算出した。

$$\mu = \mu_{\max} \cdot f(T) \cdot f(I) \cdot f(N,P)$$

μ : 増殖速度(day⁻¹) μ_{\max} : 最大増殖速度(day⁻¹) $f(T)$: 水温依存項 $f(I)$: 照度依存項
 $f(N,P)$: 栄養塩依存項

なお、上表では $f(I)$ と $f(N,P)$ を 1 とし、 $f(T)$ を以下の式より算出した。

$$f(T) = (T/T_{opt} \cdot \exp(1 - T/T_{opt}))^3$$

3. *Chattonella antiqua*、*Gymnodinium mikimotoi* は以下の式に基づき算出した。

[*Chattonella antiqua*]

$$\mu = 9.34751 - 1.49979 \cdot T + 0.07380 \cdot T^2 - 0.00117 \cdot T^3 - 0.00001 \cdot S^3 + 0.00389 \cdot T \cdot S - 0.00003 \cdot T \cdot S^2 - 0.00003 \cdot T^2 \cdot S$$

[*Gymnodinium mikimotoi*]

$$\mu = 1.05753 - 0.30220 \cdot T + 0.01777 \cdot T^2 - 0.00035 \cdot T^3 + 0.00515 \cdot T \cdot S - 0.00010 \cdot T \cdot S^2$$

4. 比率 = ('97-'03の最大成長速度[増加率]) / ('84-'89の最大成長率[増加率]) である。

- 資料) 1. 中嶋雅孝, 横山佳裕, 内田唯史, 中野拓治, 中西弘(2005) 「有明海における冬季のノリ及び赤潮プランクトンの増殖特性」水環境学会誌, Vol.28, No.5, pp.339-345
2. 山口峰生, 今井一郎, 本城凡夫(1991) 「有害赤潮ラフィド藻 *Chattonella antiqua* と *C.marina* の増殖速度に及ぼす水温、塩分及び光強度の影響」日本水産学会誌, Vol.57, No.7, pp.1277-1284
3. 山口峰生, 本城凡夫(1989) 「有害赤潮鞭毛藻 *Gymnodinium nagasakiense* の増殖に及ぼす水温、塩分及び光強度の影響」日本水産学会誌, Vol.55, No.11, pp.2029-2036

【資料3】

八代海 : 84~89年と97~03年の植物プランクトン増殖速度
(水温、塩分を変数として成長式に入れて算出)

水域	対象期間	月	表層平均水温 (T:)	表層平均塩分 (S: -)	<i>Skeletonema costatum</i>		<i>Chattonella antiqua</i>		<i>Gymnodinium mikimotoi</i>	
					増殖速度 (day ⁻¹)	比率	増殖速度 (day ⁻¹)	比率	増殖速度 (day ⁻¹)	比率
A海域	'84-'89	4-6月	19.4	29.51	0.675	-	0.612	-	0.585	-
		7-9月	26.4	28.03	0.494	-	1.111	-	0.761	-
		10-12月	17.4	31.56	0.692	-	0.446	-	0.430	-
		1-3月	11.2	31.76	0.550	-	0.774	-	0.112	-
	'97-'03	4-6月	19.6	29.61	0.671	0.99	0.636	1.04	0.597	1.02
		7-9月	26.7	28.13	0.483	0.98	1.107	1.00	0.748	0.98
		10-12月	18.6	31.03	0.684	0.99	0.541	1.21	0.513	1.19
		1-3月	11.6	31.87	0.571	1.04	0.686	0.89	0.123	1.10
B海域	'84-'89	4-6月	19.2	29.08	0.677	-	0.594	-	0.581	-
		7-9月	26.3	28.74	0.496	-	1.120	-	0.753	-
		10-12月	18.5	32.06	0.686	-	0.526	-	0.483	-
		1-3月	11.5	32.22	0.565	-	0.706	-	0.114	-
	'97-'03	4-6月	19.5	29.55	0.674	0.99	0.619	1.04	0.588	1.01
		7-9月	26.9	28.86	0.479	0.97	1.113	0.99	0.733	0.97
		10-12月	19.5	31.60	0.673	0.98	0.627	1.19	0.553	1.15
		1-3月	12.0	32.38	0.589	1.04	0.609	0.86	0.128	1.13
C海域	'84-'89	4-6月	19.1	32.55	0.679	-	0.579	-	0.506	-
		7-9月	26.3	30.95	0.498	-	1.138	-	0.708	-
		10-12月	20.0	33.27	0.664	-	0.673	-	0.536	-
		1-3月	12.9	33.52	0.623	-	0.477	-	0.141	-
	'97-'03	4-6月	19.3	32.38	0.675	0.99	0.605	1.04	0.524	1.04
		7-9月	26.7	31.06	0.484	0.97	1.133	1.00	0.689	0.97
		10-12月	21.1	32.93	0.643	0.97	0.783	1.16	0.594	1.11
		1-3月	13.4	33.42	0.641	1.03	0.424	0.89	0.168	1.19
D海域	'84-'89	4-6月	19.1	33.12	0.679	-	0.577	-	0.491	-
		7-9月	25.6	32.00	0.520	-	1.132	-	0.693	-
		10-12月	20.4	33.69	0.656	-	0.712	-	0.543	-
		1-3月	14.0	34.02	0.657	-	0.378	-	0.182	-
	'97-'03	4-6月	19.0	33.35	0.680	1.00	0.567	0.98	0.480	0.98
		7-9月	25.9	31.94	0.510	0.98	1.138	1.01	0.688	0.99
		10-12月	21.3	33.37	0.639	0.97	0.801	1.12	0.588	1.08
		1-3月	14.6	34.04	0.671	1.02	0.353	0.93	0.214	1.18

注) 1. 表層平均水温、平均透明度は各県の浅海定線調査を用いて算出した。

2. *Skeletonema costatum* の成長速度は以下の式に基づき算出した。

$$\mu = \mu_{\max} \cdot f(T) \cdot f(I) \cdot f(N,P)$$

μ : 増殖速度(day⁻¹) μ_{\max} : 最大増殖速度(day⁻¹) $f(T)$: 水温依存項 $f(I)$: 照度依存項
 $f(N,P)$: 栄養塩依存項

なお、上表では $f(I)$ と $f(N,P)$ を 1 とし、 $f(T)$ を以下の式より算出した。

$$f(T) = (T / T_{opt} \cdot \exp(1 - T / T_{opt}))^3$$

3. *Chattonella antiqua*、*Gymnodinium mikimotoi* は以下の式に基づき算出した。

[*Chattonella antiqua*]

$$\mu = 9.34751 - 1.49979 \cdot T + 0.07380 \cdot T^2 - 0.00117 \cdot T^3 - 0.00001 \cdot S^3 + 0.00389 \cdot T \cdot S - 0.00003 \cdot T \cdot S^2 - 0.00003 \cdot T^2 \cdot S$$

[*Gymnodinium mikimotoi*]

$$\mu = 1.05753 - 0.30220 \cdot T + 0.01777 \cdot T^2 - 0.00035 \cdot T^3 + 0.00515 \cdot T \cdot S - 0.00010 \cdot T \cdot S^2$$

4. 比率 = ('97-'03の最大成長速度[増加率]) / ('84-'89の最大成長率[増加率]) である。

資料) 1. 中嶋雅孝, 横山佳裕, 内田唯史, 中野拓治, 中西弘(2005) 「有明海における冬季のノリ及び赤潮プランクトンの増殖特性」水環境学会誌, Vol.28, No.5, pp.339-345

2. 山口峰生, 今井一郎, 本城凡夫(1991) 「有害赤潮ラフィド藻 *Chattonella antiqua* と *C.marina* の増殖速度に及ぼす水温、塩分及び光強度の影響」日本水産学会誌, Vol.57, No.7, pp.1277-1284

3. 山口峰生, 本城凡夫(1989) 「有害赤潮鞭毛藻 *Gymnodinium nagasakiense* の増殖に及ぼす水温、塩分及び光強度の影響」日本水産学会誌, Vol.55, No.11, pp.2029-2036

【資料3 - 2】

八代海 : 84～89年と97～03年の植物プランクトン増殖速度
(水温一定、塩分を変数として成長式に入れて算出)

水域	対象期間	月	表層平均水温 (T:)	表層平均塩分 (S: -)	<i>Chattonella antiqua</i>		<i>Gymnodinium mikimotoi</i>	
					増殖速度 (day ⁻¹)	比率	増殖速度 (day ⁻¹)	比率
福岡県	'84-'89	4-6月	18.4	28.58	0.517	-	0.536	-
		7-9月	26.0	26.39	1.085	-	0.783	-
		10-12月	17.1	29.82	0.432	-	0.442	-
		1-3月	9.8	29.88	1.161	-	0.106	-
	'97-'03	4-6月	18.4	28.90	0.518	1.00	0.532	0.99
		7-9月	26.0	27.22	1.099	1.01	0.779	0.99
		10-12月	17.1	29.51	0.431	1.00	0.446	1.01
佐賀県	'84-'89	4-6月	18.3	28.85	0.513	-	0.530	-
		7-9月	26.3	25.93	1.076	-	0.779	-
		10-12月	17.1	30.30	0.430	-	0.433	-
		1-3月	9.9	30.76	1.135	-	0.099	-
	'97-'03	4-6月	18.3	28.61	0.512	1.00	0.532	1.00
		7-9月	26.3	26.27	1.083	1.01	0.778	1.00
		10-12月	17.1	29.79	0.431	1.00	0.441	1.02
長崎県	'84-'89	4-6月	18.2	34.18	0.488	-	0.412	-
		7-9月	25.2	33.37	1.117	-	0.650	-
		10-12月	19.4	33.99	0.605	-	0.484	-
		1-3月	12.3	34.43	0.534	-	0.101	-
	'97-'03	4-6月	18.2	34.09	0.489	1.00	0.415	1.01
		7-9月	25.2	33.30	1.117	1.00	0.653	1.00
		10-12月	19.4	33.87	0.606	1.00	0.488	1.01
熊本県	'84-'89	4-6月	18.4	31.46	0.526	-	0.495	-
		7-9月	25.6	29.01	1.118	-	0.765	-
		10-12月	19.1	32.13	0.581	-	0.516	-
		1-3月	12.1	32.53	0.598	-	0.128	-
	'97-'03	4-6月	18.4	31.11	0.527	1.00	0.502	1.01
		7-9月	25.6	30.09	1.127	1.01	0.743	0.97
		10-12月	19.1	31.75	0.582	1.00	0.525	1.02
		1-3月	12.1	31.80	0.607	1.01	0.139	1.09

注) 1. 表層平均水温、平均透明度は各県の浅海定線調査を用いて算出した。

2. *Skeletonema costatum* の成長速度は以下の式に基づき算出した。

$$\mu = \mu_{\max} \cdot f(T) \cdot f(I) \cdot f(N,P)$$

μ : 増殖速度(day⁻¹) μ_{\max} : 最大増殖速度(day⁻¹) $f(T)$: 水温依存項 $f(I)$: 照度依存項
 $f(N,P)$: 栄養塩依存項

なお、上表では $f(I)$ と $f(N,P)$ を 1 とし、 $f(T)$ を以下の式より算出した。

$$f(T) = (T/T_{opt} \cdot \exp(1 - T/T_{opt}))^3$$

3. *Chattonella antiqua*、*Gymnodinium mikimotoi* は以下の式に基づき算出した。

[*Chattonella antiqua*]

$$\mu = 9.34751 - 1.49979 \cdot T + 0.07380 \cdot T^2 - 0.00117 \cdot T^3 - 0.00001 \cdot S^3 + 0.00389 \cdot T \cdot S - 0.00003 \cdot T \cdot S^2 - 0.00003 \cdot T^2 \cdot S$$

[*Gymnodinium mikimotoi*]

$$\mu = 1.05753 - 0.30220 \cdot T + 0.01777 \cdot T^2 - 0.00035 \cdot T^3 + 0.00515 \cdot T \cdot S - 0.00010 \cdot T \cdot S^2$$

4. 比率 = ('97-'03の最大成長速度[増加率]) / ('84-'89の最大成長率[増加率]) である。

- 資料) 1. 中嶋雅孝, 横山佳裕, 内田唯史, 中野拓治, 中西弘(2005) 「有明海における冬季のノリ及び赤潮プランクトンの増殖特性」水環境学会誌, Vol.28, No.5, pp.339-345
2. 山口峰生, 今井一郎, 本城凡夫(1991) 「有害赤潮ラフィド藻 *Chattonella antiqua* と *C.marina* の増殖速度に及ぼす水温、塩分及び光強度の影響」日本水産学会誌, Vol.57, No.7, pp.1277-1284
3. 山口峰生, 本城凡夫(1989) 「有害赤潮鞭毛藻 *Gymnodinium nagasakiense* の増殖に及ぼす水温、塩分及び光強度の影響」日本水産学会誌, Vol.55, No.11, pp.2029-2036

【資料4】

1984～1989年と1997～2003年の平均透明度の比較（有明海・八代海）

（有明海）

水域	対象期間	月	平均透明度 (m)	比率
福岡県	'84-'89	4-6月	1.52	-
		7-9月	1.49	-
		10-12月	1.50	-
		1-3月	1.56	-
	'97-'03	4-6月	1.44	0.95
		7-9月	1.50	1.00
		10-12月	1.52	1.01
		1-3月	1.78	1.14
佐賀県	'84-'89	4-6月	1.87	-
		7-9月	1.87	-
		10-12月	1.70	-
		1-3月	1.78	-
	'97-'03	4-6月	1.95	1.04
		7-9月	1.83	0.98
		10-12月	1.91	1.12
		1-3月	2.19	1.23
長崎県	'84-'89	4-6月	5.71	-
		7-9月	4.65	-
		10-12月	5.37	-
		1-3月	6.44	-
	'97-'03	4-6月	6.55	1.15
		7-9月	5.94	1.28
		10-12月	5.88	1.09
		1-3月	7.85	1.22
熊本県	'84-'89	4-6月	4.28	-
		7-9月	3.59	-
		10-12月	4.15	-
		1-3月	4.87	-
	'97-'03	4-6月	5.13	1.20
		7-9月	4.69	1.31
		10-12月	4.64	1.12
		1-3月	6.36	1.31

（八代海）

水域	対象期間	月	平均透明度 (m)	比率	
A海域	'84-'89	4-6月	1.98	-	
		7-9月	1.95	-	
		10-12月	2.14	-	
		1-3月	2.77	-	
	'97-'03	4-6月	2.52	1.27	
		7-9月	2.38	1.22	
		10-12月	2.72	1.27	
		1-3月	3.31	1.19	
	B海域	'84-'89	4-6月	2.62	-
			7-9月	2.54	-
			10-12月	2.71	-
			1-3月	2.91	-
'97-'03		4-6月	3.04	1.16	
		7-9月	3.47	1.37	
		10-12月	3.56	1.31	
		1-3月	3.86	1.33	
C海域	'84-'89	4-6月	7.38	-	
		7-9月	5.75	-	
		10-12月	6.42	-	
		1-3月	7.44	-	
	'97-'03	4-6月	7.24	0.98	
		7-9月	6.83	1.19	
		10-12月	7.15	1.11	
		1-3月	8.50	1.14	
D海域	'84-'89	4-6月	8.70	-	
		7-9月	6.35	-	
		10-12月	8.68	-	
		1-3月	10.40	-	
	'97-'03	4-6月	9.44	1.09	
		7-9月	7.58	1.19	
		10-12月	9.12	1.05	
		1-3月	11.51	1.11	

注) 1. 表層平均水温、平均透明度は各県の浅海定線調査を用いて算出した。

2. 比率 = ('97-'03 の平均透明度) / ('84-'89 の平均透明度]) である。

【資料5】

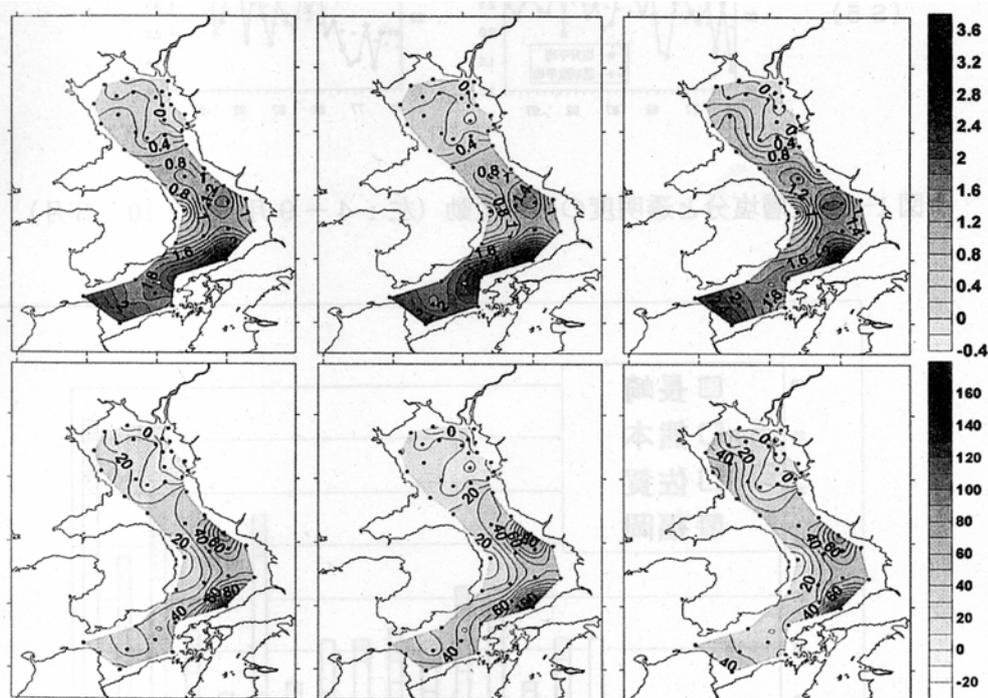


図1-3 有明海における透明度の上昇幅（上段）と上昇率（下段）の水平分布
 左：年間平均値（1976年～2004年）
 中央：4－9月 右：10－3月

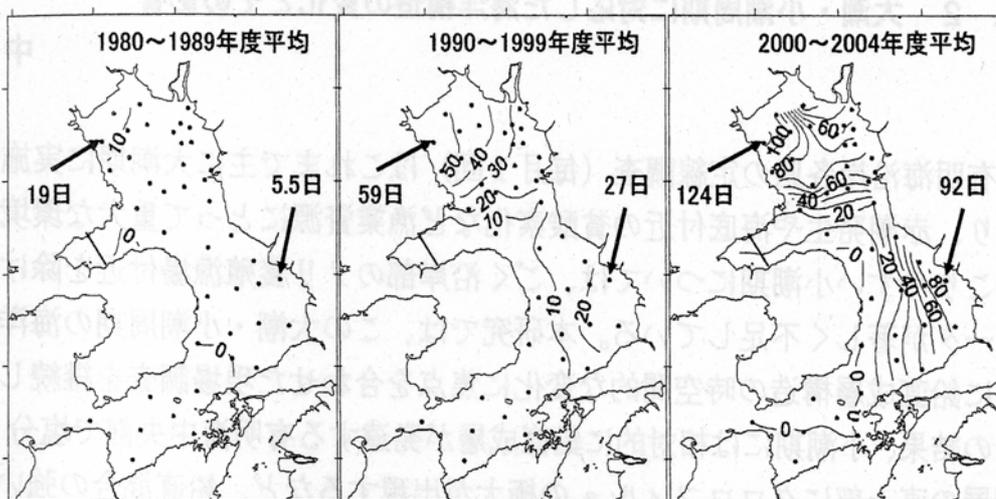


図1-6 有明海における年代別の10～3月の平均赤潮発生日数（日/半年）
 （清本ほか，2006）

資料)「有明海の環境変化が漁業資源に及ぼす影響に関する総合研究」(平成18年3月、研究代表者中田英昭) pp.27-31

【資料6】 有明海・八代の水質、河川流量、流入負荷両

(1) 有明海：水質の回帰分析結果

	水温	塩分	COD	T-N	T-P	SS	透明度
St.7(福岡)	+	+	+	-	-	-	
St.9(福岡)	+	+	+	-	-	-	
St.1(熊本)	+		-				+
St.7(熊本)	+		-				+
St.9(熊本)	-		+				-
瀬詰崎沖(長崎)	+	+	-		+		+
島原沖(長崎)	-	+	+		-		-
A-2(佐賀)		+	+	-	+	-	
B-2(佐賀)		+	-	-	+	-	
B-3(佐賀)		+	-	-	+	-	

(有明海：データが1990年前後からしかないもの)

	水温	塩分	COD	T-N	T-P	SS	透明度
St.1(熊本)				-	-		
St.7(熊本)				-	-		
St.9(熊本)				-	-		
B-1(長崎)	-	+	-	-	-		
B-2(長崎)	-	+	-	-	-		
瀬詰崎沖(長崎)				+			
島原沖(長崎)				+			
A-2(佐賀)	+						
B-2(佐賀)	+						
B-3(佐賀)	+						

(2) 八代海：水質の回帰分析結果

	水温	塩分	COD	T-N	T-P	SS	透明度
St.10(熊本)	+		-	-	-		-
St.7(熊本)	+		-	+	-		-
基準点5(鹿児島)	+		+	-	-		-
基準点7(鹿児島)	+		+	-	-		-

- 注) 1. 、 で網掛けしている項目は、有意水準 5%で有意な変化傾向が認められたことを示す。/はデータがないものことを示す。
2. 回帰直線の傾きがプラスの場合"+”、マイナスの場合"-”とする。

資料：「第9回有明海・八代海総合調査評価委員会」資料6-1 有明海における公共用水域水質測定結果 [環境省発表資料]

(3) 筑後川、球磨川の年間流量の推移

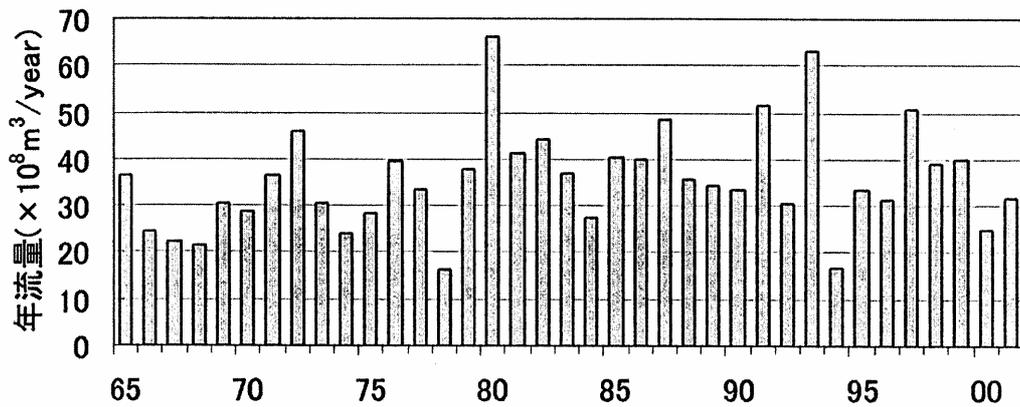
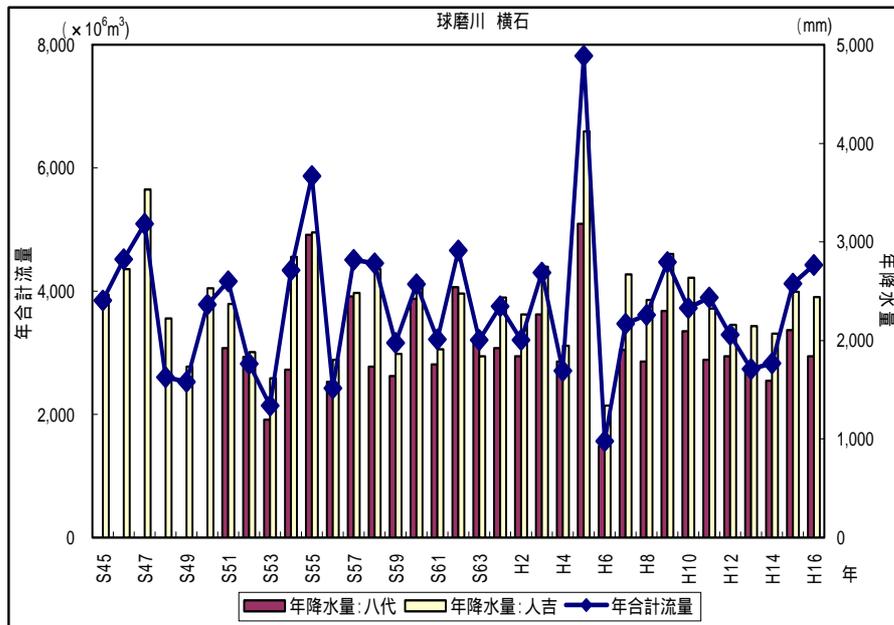
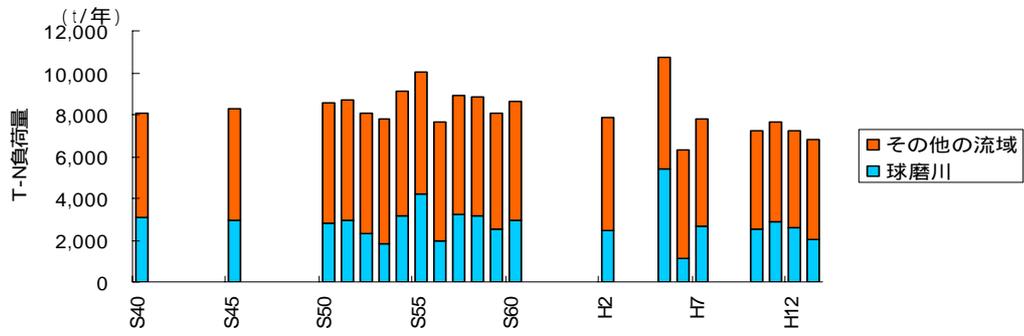
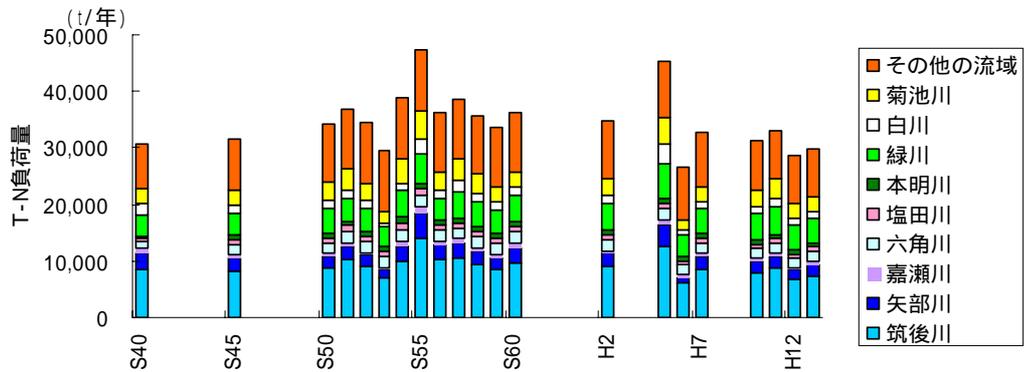


図1-2 筑後川(瀬ノ下)における年流量($\times 10^8 \text{m}^3$)の変動
(1966年7月24日～8月14日は欠測のため含まない)



(4) 有明海流域、八代海流域の流入負荷量(T-N)の変遷



【資料7】

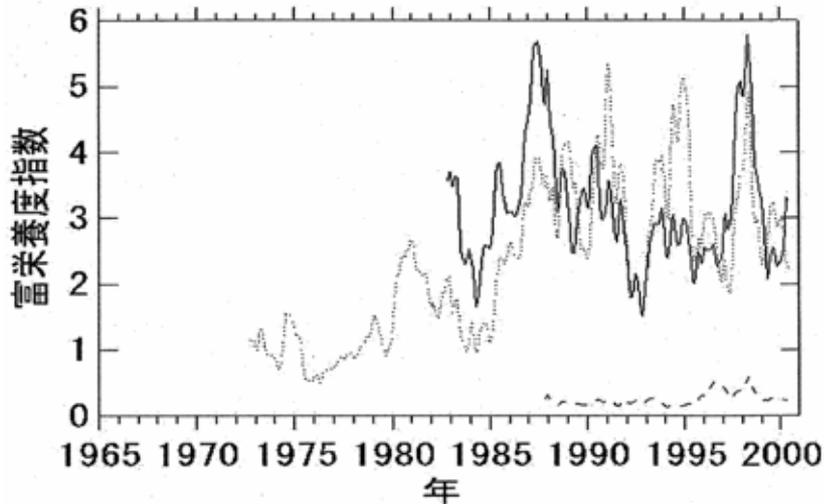


図1-55 DIN、PO₄-P及びCODから算出した富栄養度指数の経年変化。実線：福岡県、点線：佐賀県、破線：熊本県

資料) 研究成果第432集「有明海の海洋環境の変化が生物生産に及ぼす影響の解明」(平成17年3月, 農林水産省農林水産技術会議事務局編) pp.57

【資料8】

- ・1990年～2000年の有明海湾奥部における底質調査結果から、(a)図のCODについてみると、海域Aでは汚染（水産用水基準によるとCOD20mg/g以上は汚染泥である）が進んでおり、海域Bも近年値が高くなってきている。(b)図の硫化水素についてみると、海域Bの上昇がみられ同時に(c)図の強熱減量でも増加がみられる(図-10)。

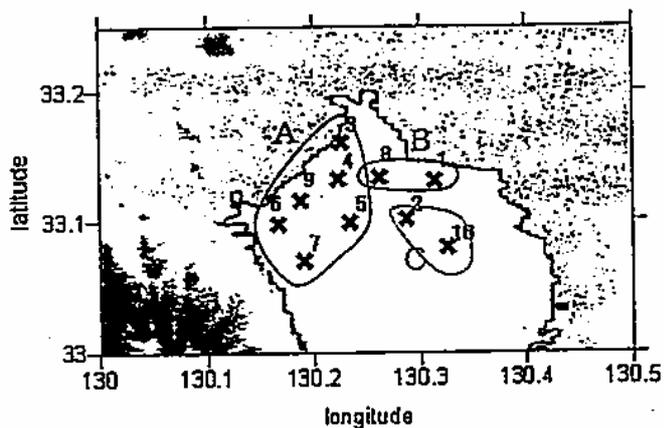


図-2 底質モニタリング調査地点 (クラスター分類)

資料) 滝川清, 田中建路, 外村隆臣, 西岡律恵, 青山千春 (2003)

「有明海の過去25年における海域環境の変動特性」海岸工学論文集第50巻;PAGE.1001-1005

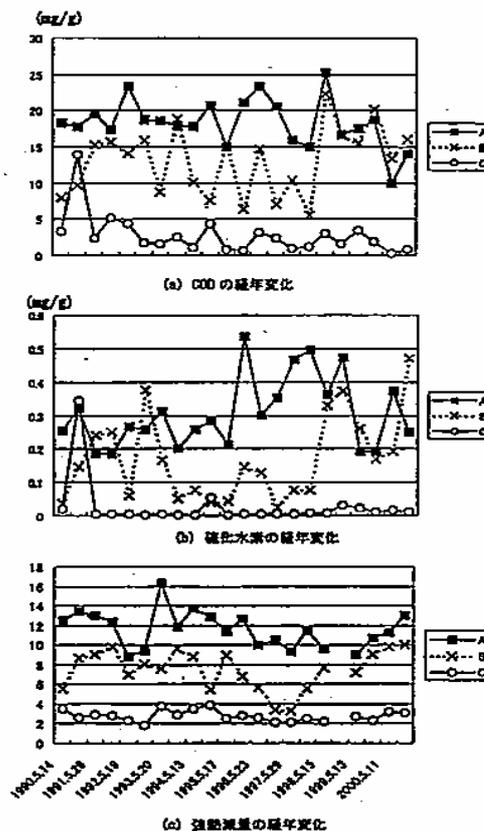
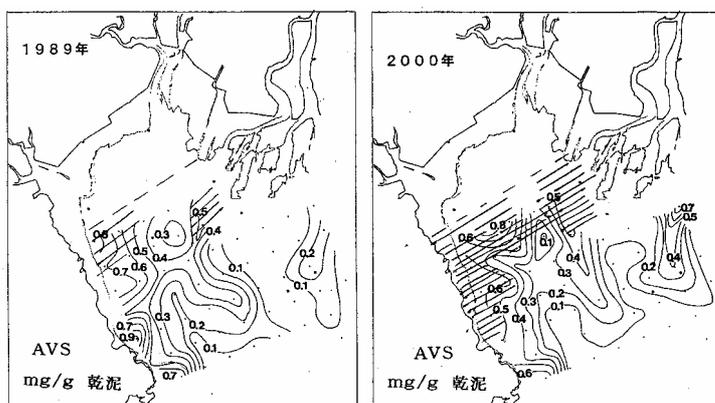


図-10 湾奥底質の経年変動特性

- ・1989年と2000年の有明海湾奥部におけるAVS（酸揮発性硫化物量）を比較すると、2000年のAVS濃度は、1989年より調査範囲の濃度が全般的に高くなっている。

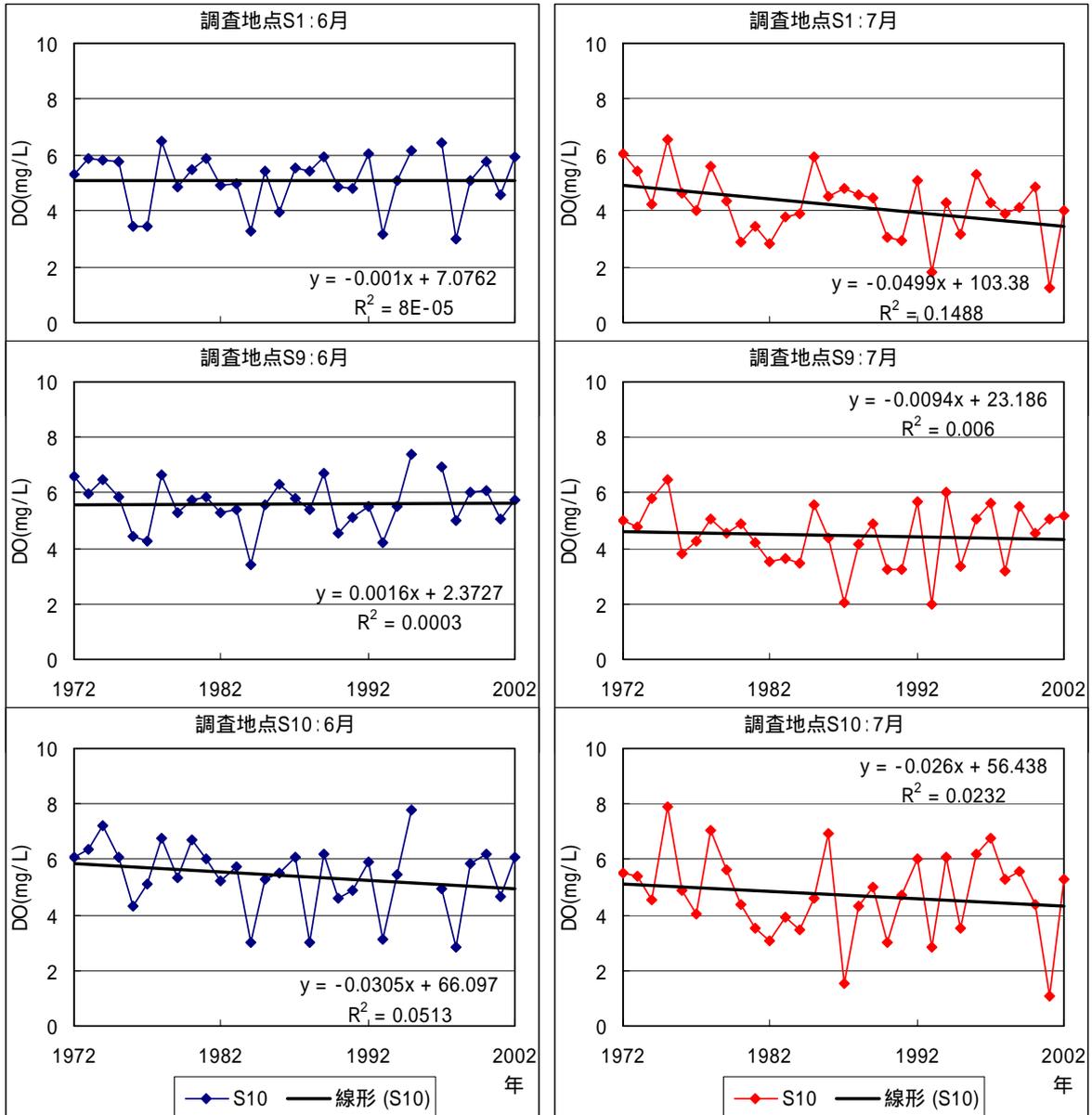


資料)

古賀秀昭(1991):有明海北西海域の底質及び底生生物, 佐賀県有明水産試験場研究報告, 13号, pp.57-79

大隈育, 江口泰蔵, 川原逸朗, 伊藤史郎(2001):有明海湾奥部の底質及びマクロベントス, 佐賀県有明水産振興センター研究報告, 20号, pp.55-62

- ・有明海湾奥西部の浅海定線調査点（S1、S9及びS10：佐賀県）の夏季（台風等による鉛直混合の影響が少ないと考えられる6月、7月を対象）における海底上1mのDOの経年変化を以下に示す。S1とS9において、6月は大きな変化傾向はみられなかったが、7月はDO濃度の低下傾向がうかがわれた。また、S10については、6月、7月ともにDO濃度の低下傾向がうかがわれた。



【資料 9】

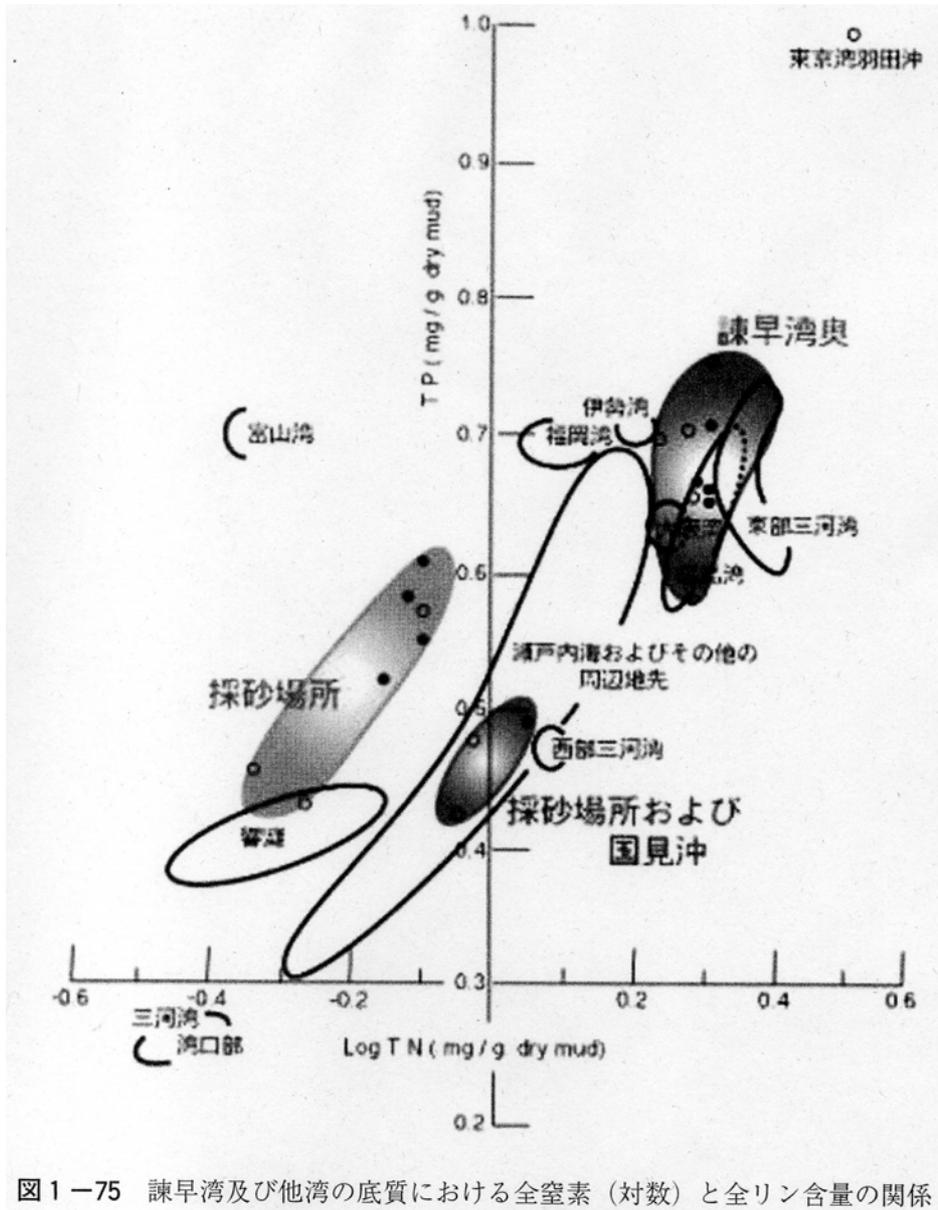


図 1-75 諫早湾及び他湾の底質における全窒素（対数）と全リン含量の関係

資料) 研究成果第 432 集「有明海の海洋環境の変化が生物生産に及ぼす影響の解明」(平成 17 年 3 月, 農林水産省農林水産技術会議事務局編) pp.71-76

【資料10】

シャットネラ属の増殖と鉄との関係

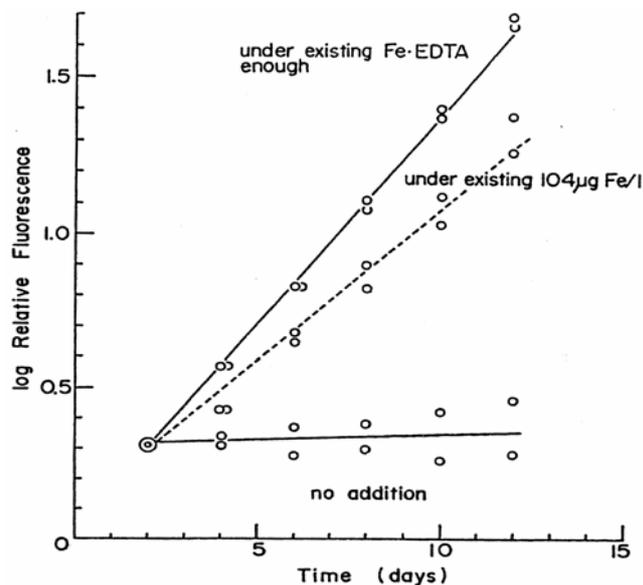


図1. 基本培地へ $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ の形で $104 \mu\text{g Fe}/\ell$ 添加した時の*Chaetoceros* sp. (三河湾産ホルネリア)の増殖

資料) 本城凡夫(2004)「有明海・八代海における赤潮の発生について」第12回有明海・八代海総合調査評価委員会 資料4

【資料11】

表1-10 有明海の水容量、海水交流量、河川流量及び二枚貝による1日あたり濾水量の比較 (単位: $\times 10^6\text{kL}$)

有明海容量		34,000	
		大潮	小潮
外海との海水交流量	1潮汐	6,300	2,700
干潟への海水交流量/日	約50年前	1,015	189
	現在	761	142
河川流量の合計/日	年平均	21.9	
		24°C	10°C
アサリによる濾水量/日	最盛期	400-600	100-200
	1996-2000	23-51	6-14
二枚貝全体の濾水量/日	1990年以前	400-1,000	100-370
	1996-2000	61-177	21-63

【資料12】

- ・1年間のアサリの生産量と底生微細藻類現存量（堆積物0～1cmに生息）の間には、線形近似で示される有意な相関関係（F検定 $p < 0.01$ ）が成立した（Fig.2）。一方、アサリの生産量と水柱の植物プランクトン現存量（周年変化）の間には明確な関連性は見いだせなかった。
- ・調査地点の平均水深を2.0mとすると、調査地点における植物プランクトンの現存量の周年平均値（ 10.3 mgChl-a/m^2 ）は、底生微細藻類現存量（ 30.2 gChl-a/m^2 ）の約3割に過ぎなかった（Fig.3(a)）。
- ・アサリの生産量と底生微細藻類現存量の変化が良い一致を示した事実から、緑川河口干潟に生息するアサリの主要食物が底生微細藻類であったと帰結した。
- ・有光層を含む層である堆積物0～0.5cm層とその直下の0.5～1cm層における底生微細藻類現存量の差異は10%と非常に小さい。周年平均値としてみると、0～0.5cm層と0.5～1cm層における底生微細藻類現存量には有意な差（t検定 $p > 0.05$ ）がなかった（Fig.3(b)）。本調査域のように、有光層を含む層に匹敵する底生微細藻類の現存量を無光層で維持する作用としては堆積物が常によく鉛直的に攪拌された状態にあった可能性が考えられる。
- ・緑川河口干潟に生息するアサリの食物利用性を調べた結果、微細藻類の量的構成比、堆積物の再懸濁という、少なくとも二つの環境因子による複合作用が、懸濁物食性二枚貝の食物利用性の決定に携わっていることが示された。
- ・懸濁物食性二枚貝にとって、植物プランクトンと底生微細藻類、どちらが重要な食物なのかに関する一般性の高い回答を得るには、より多くの海域での知見が不可欠である。

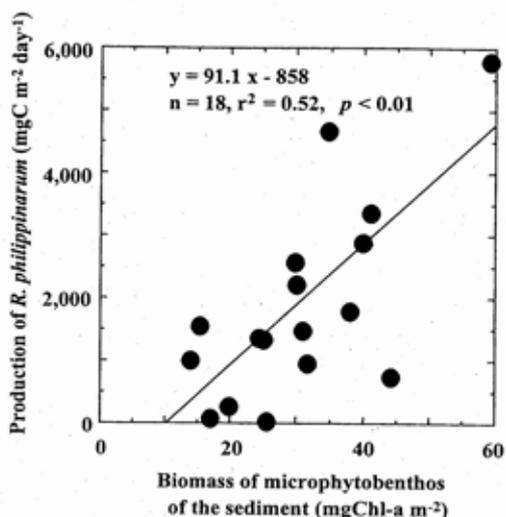


Fig. 2. Relationship between estimated daily production of the clam, *Ruditapes philippinarum*, and microphytobenthos biomass measured from the sediment up to 1 cm depth at a sampling station on a tidal flat at the mouth of Midori River, during an annual period of the investigation.

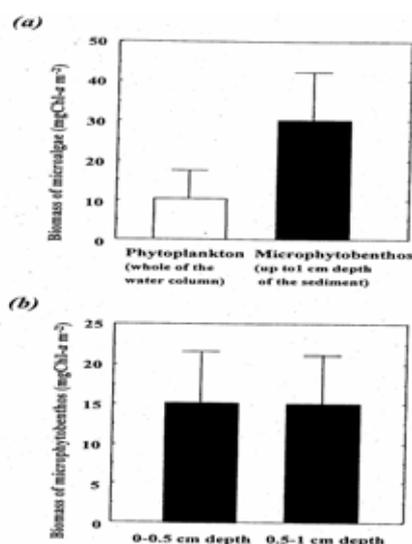


Fig. 3. Distribution of microalgae at a sampling station on a tidal flat at the mouth of Midori River: (a) biomass of phytoplankton of the whole water column (left side) and microphytobenthos of the sediment up to 1 cm depth (right side), expressed as a mean \pm S.D. during an annual period of the investigation; (b) biomass of microphytobenthos of the sediment up to 0.5 cm (left side) and 0.5 to 1 cm in depth (right side), expressed as a mean \pm S.D. during an annual period of the investigation.

資料) 山口一岩 [愛媛大学沿岸環境科学研究センター], 堤裕昭, 佃政則 [熊本県立大学環境共生学部], 柴沼成一郎 [北海道大学大学院環境科学院], 山田俊郎 [株式会社西村組], 門谷茂 [北海道大学大学院環境科学院] (2006) 「沿岸浅海底に生息する懸濁物食性二枚貝の食物資源の利用性」日本ベント学会誌, Vol. 61, pp. 59-65

【資料13】

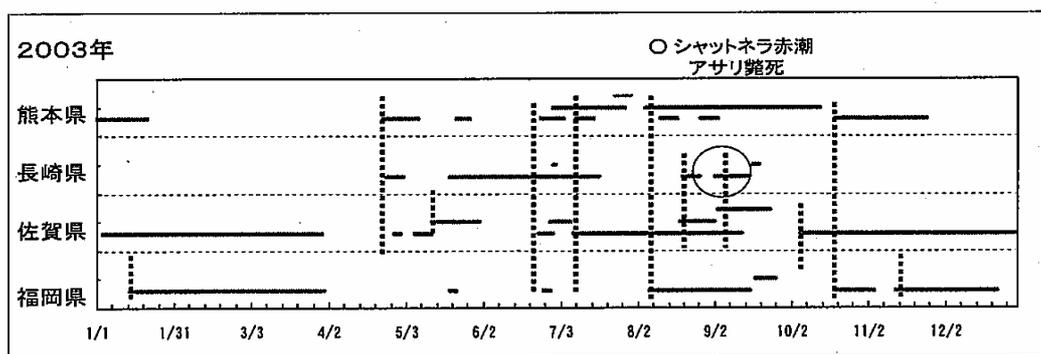


図1 平成15年の有明海の赤潮発生状況（水産庁九州漁業調整事務所資料より作成）
 図中の○印は長崎県小長井地先でシャットネラ赤潮が発生し、アサリが斃死していた時期を示す。破線は小潮時を示し、この時期に赤潮の発生が多く見られる。

資料) 渡辺康憲, 前野幸男, 藤吉栄次, 圀本達也((独)水産総合研究センター西海区水産研究所) (2004)「有明海の赤潮発生状況の把握」平成15年度閉鎖性海域赤潮被害防止対策事業報告書(有明海), pp.5-9

【資料14】

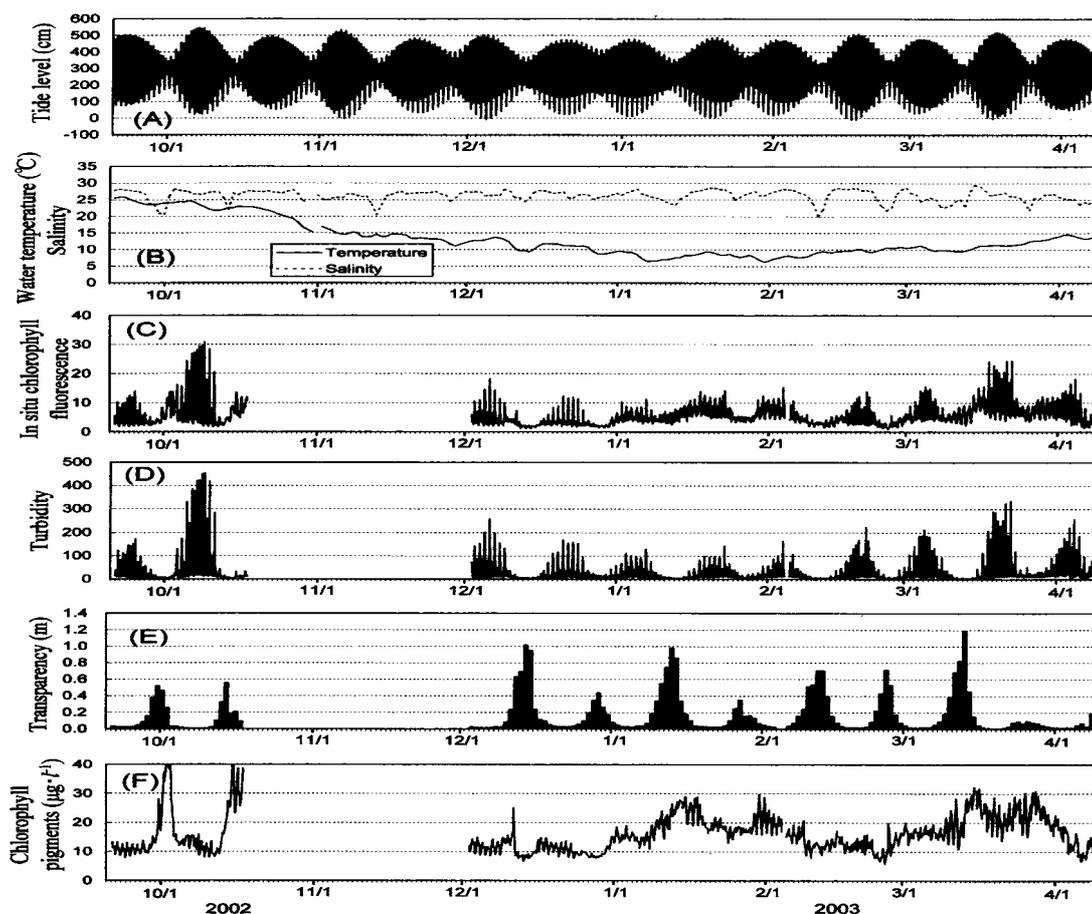


図2 2002年度ノリ漁期の三池港潮位(A)と定点2における表層(水深1 m)の日平均水温・塩分(B), 蛍光強度(C), 濁度(D), 透明度(E), 満潮時のクロロフィル色素量(F)の変動

資料: 田中勝久, 児玉真史, ((独)水産総合研究センター中央水産研究所) (2004)「有明海湾奥部の環境変に及ぼす浮泥の影響」水環境学会誌 Vol.27, No.5, pp.307-311