

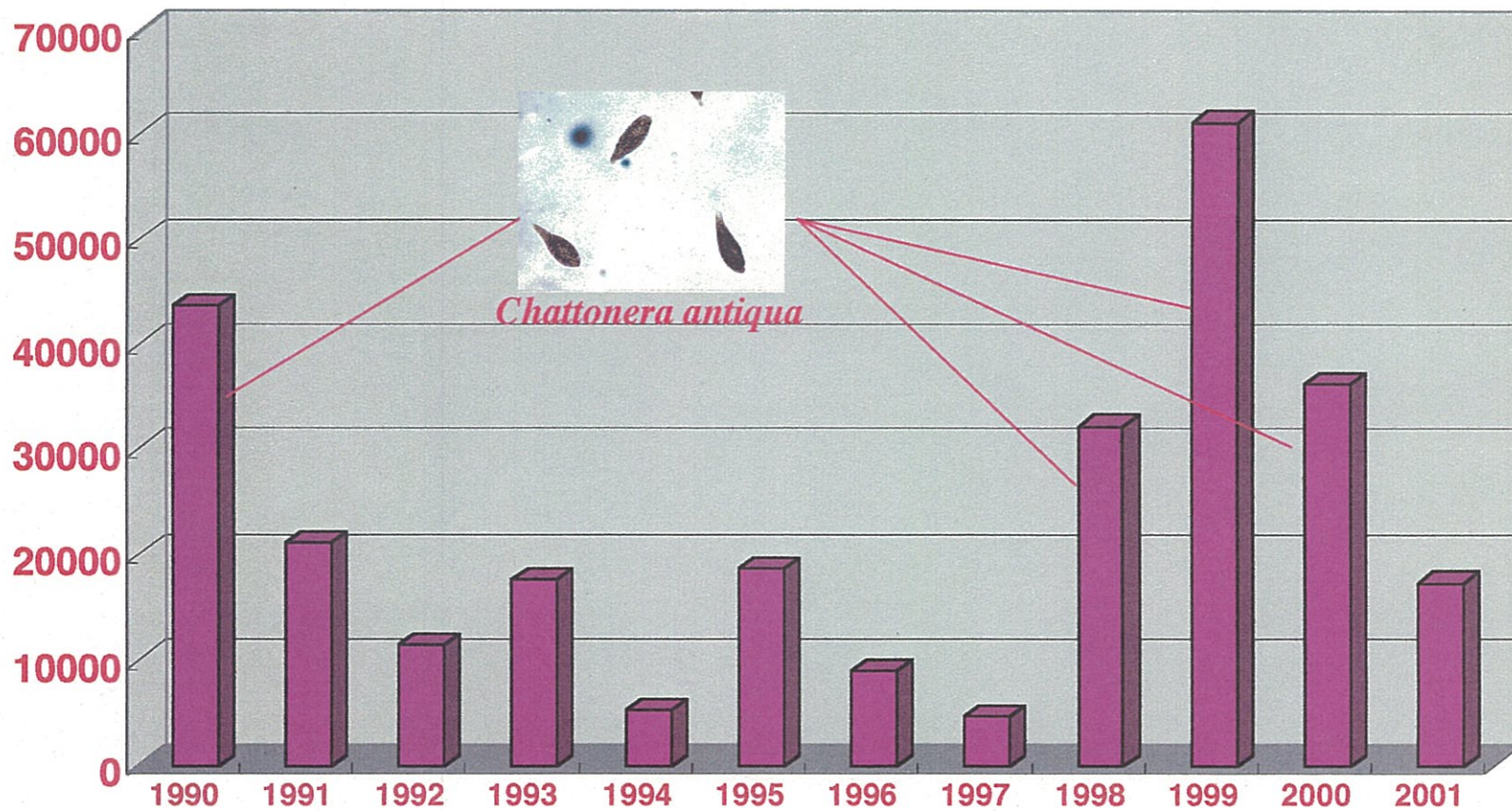


有明海奥部海域で大規模な赤潮が 発生するメカニズム

堤 裕昭
(熊本県立大学環境共生学部)

春季から夏季の赤潮発生

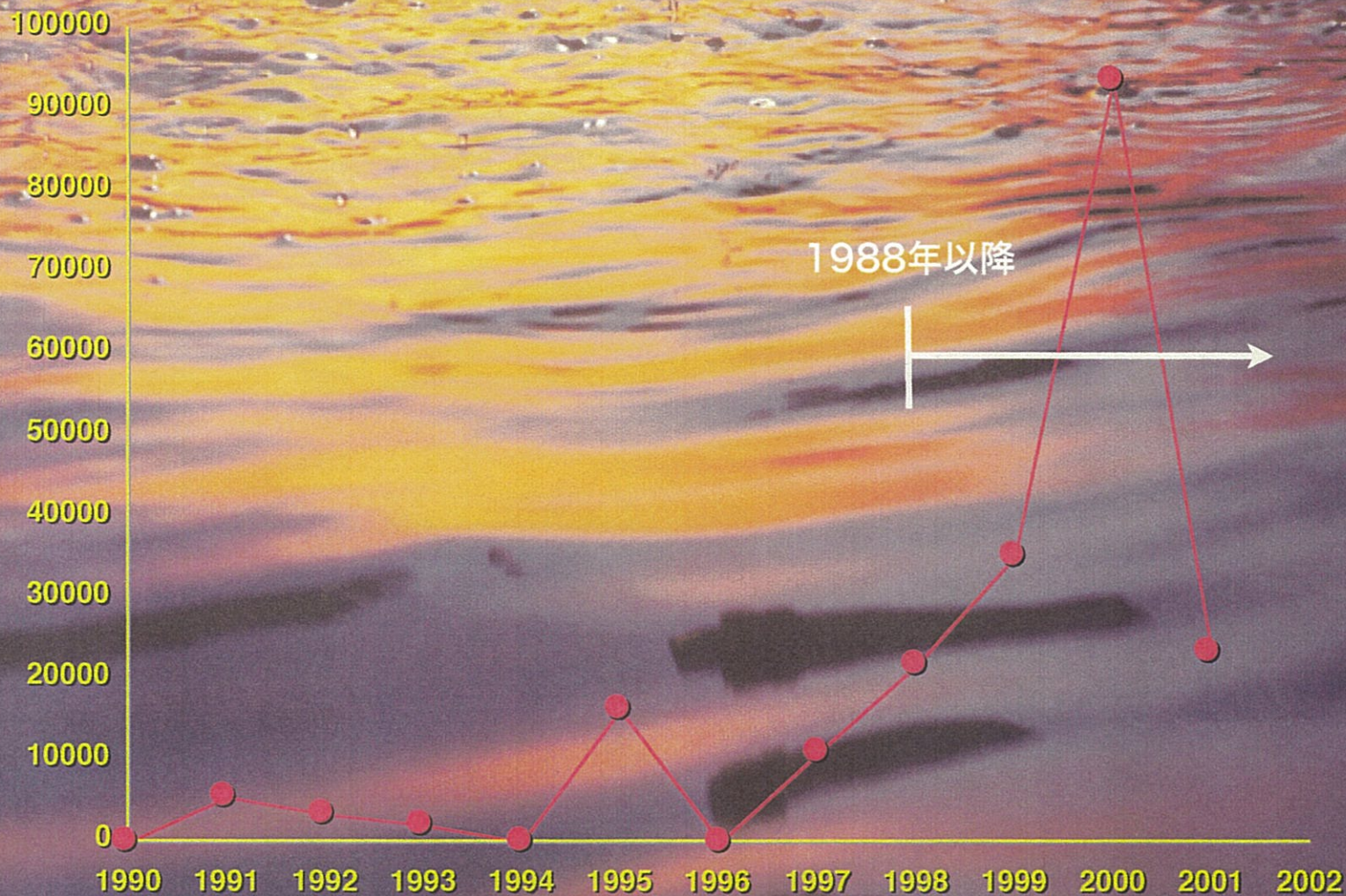
赤潮規模指数 (4月～9月) (最大面積 × 継続日数)



水産庁九州漁業調整事務所資料『九州海域の赤潮』に基づく

秋季～初冬（10～12月）の赤潮の大規模化

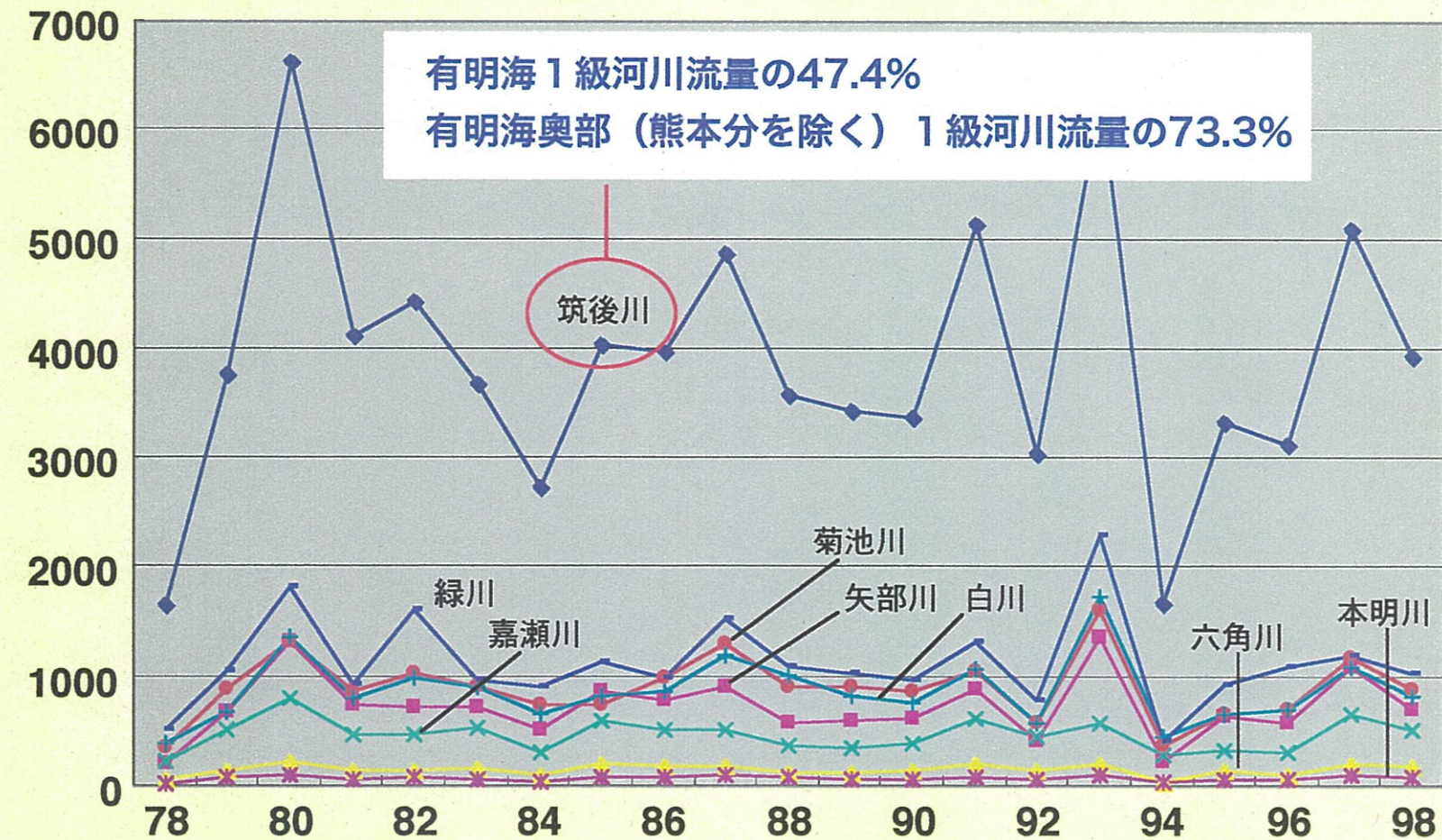
赤潮規模指標（最大面積×継続日数）



水産庁九州漁業調整事務所、「九州海域の赤潮」のデータより作成

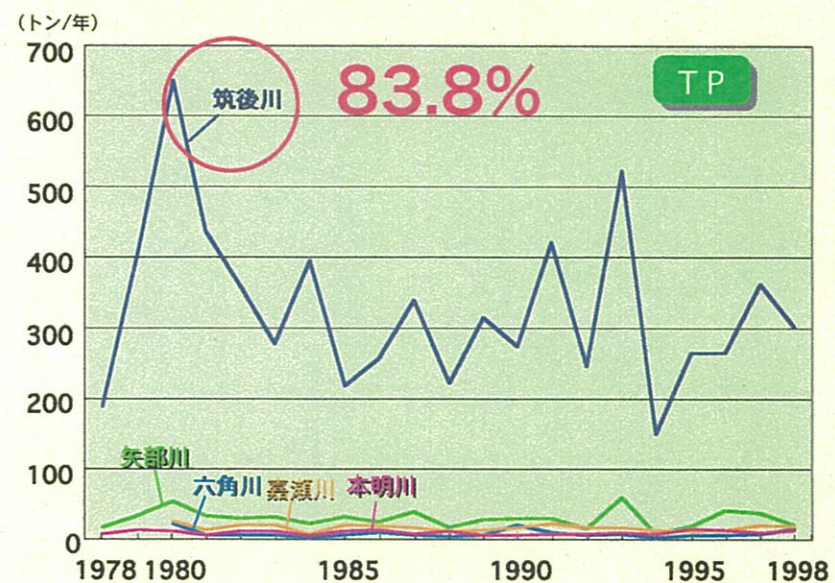
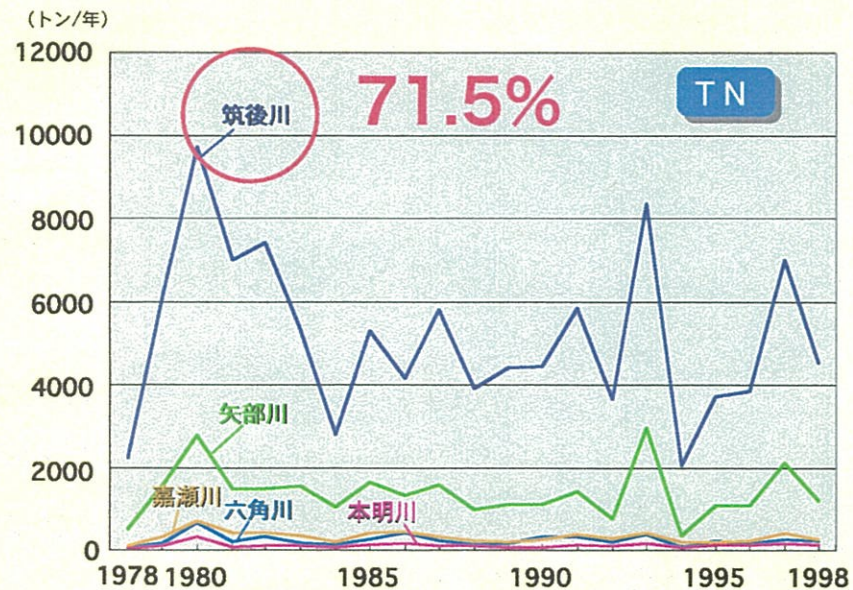
(100万トン/年)

有明海への1級河川からの河川水の年間流入量



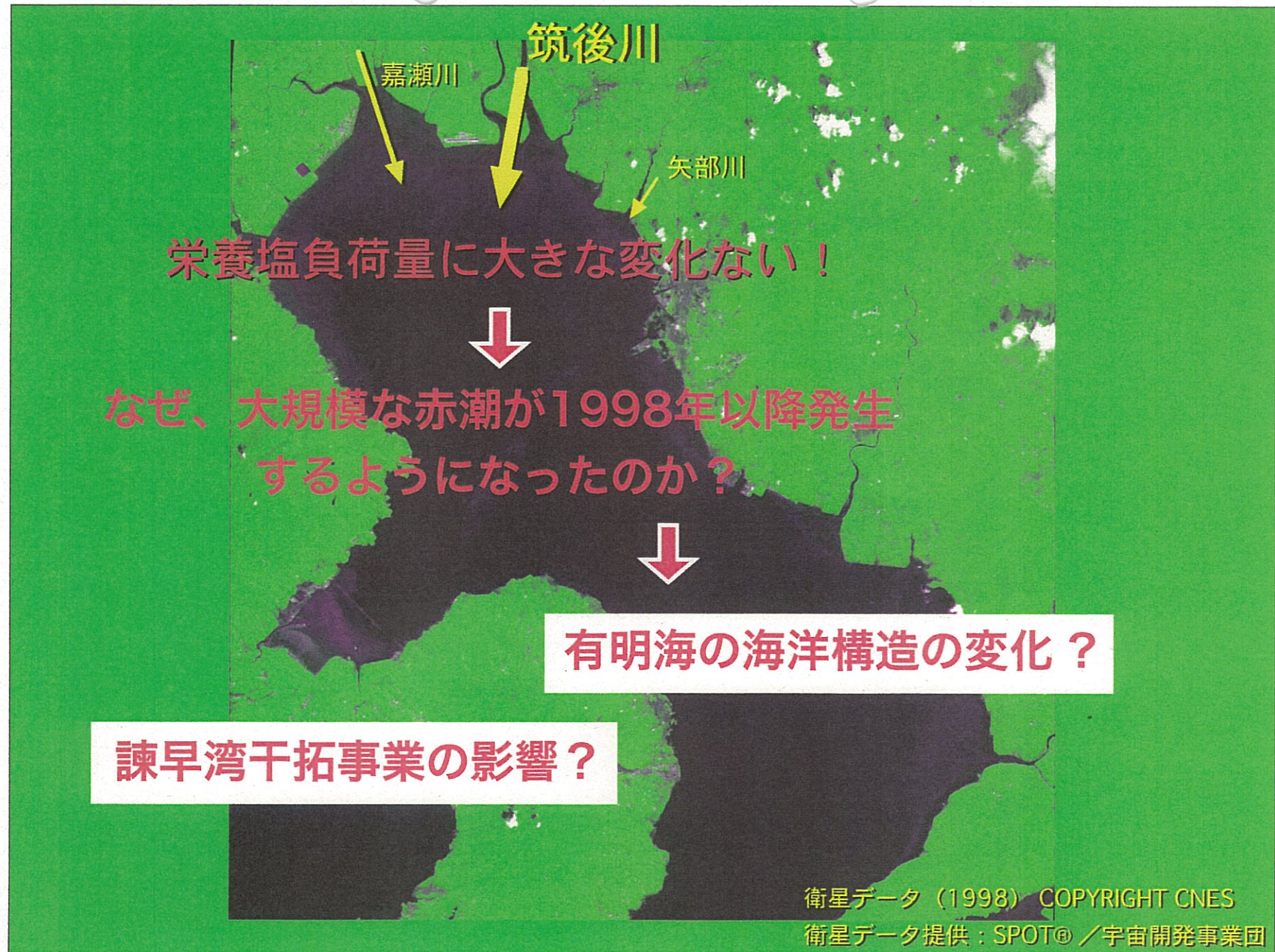
水産庁増殖推進部（2001）のデータをもとに作図した。

有明海奥部海域への1級河川からの栄養塩負荷量



富栄養化は進行していない！

農林水産省有明海ノリ不作等対策関係調査検討委員会 資料集(1)より



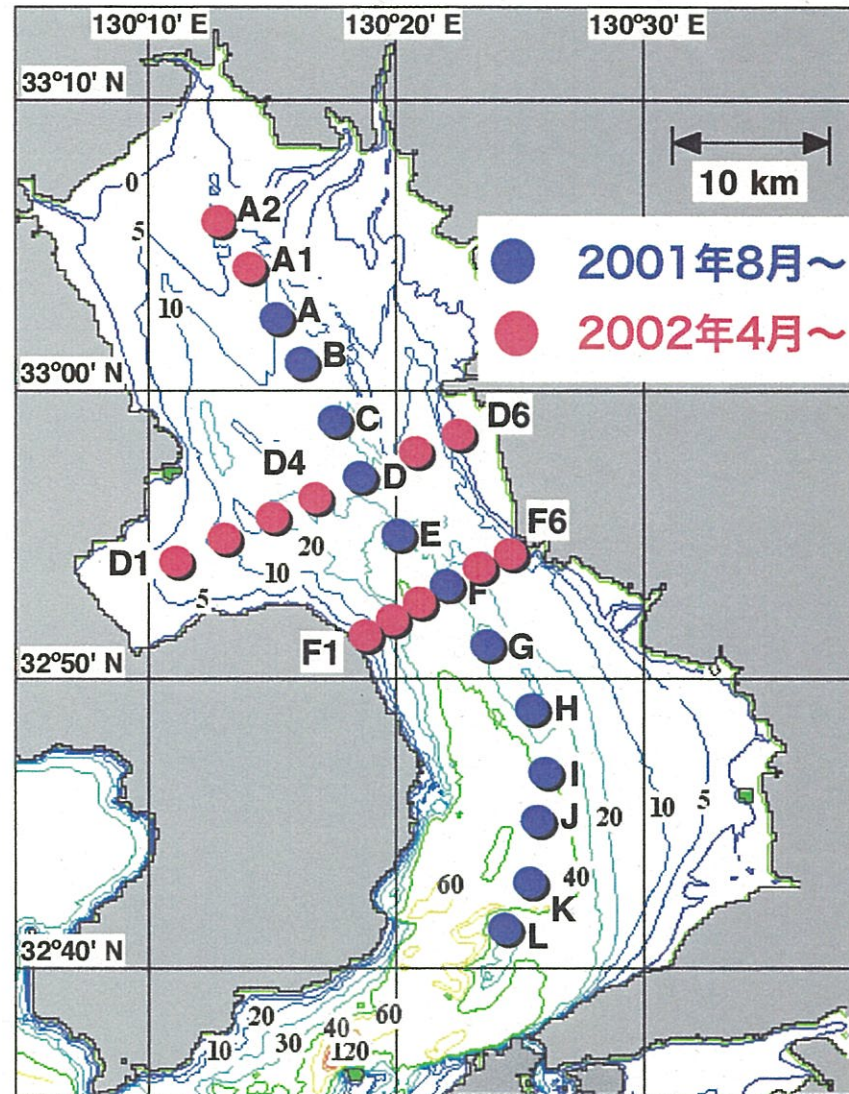
有明海の水質・海底環境の調査



定期海洋観測



空撮観測（協力：熊本県民テレビ）



現場



【多項目水質計による測定】

- ・水温
- ・DO
- ・塩分
- ・蛍光値

水深 0 ~ 10 m --- 1m 間隔
水深 10 ~ 海底 --- 2m 間隔



【採水】

水深 0, 5, 10, 20, 30, 40m
(or B-1)m

クーラーボックス
にて保管

調査は毎回5時間以内に終了

研究室

鉛直プロファイル作成

- ・水温
- ・塩分
- ・DO
- ・クロロフィル-a

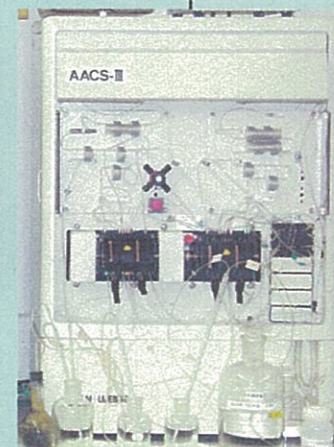
同層での値をもとに
相関係数を求め、全層
のクロロフィル-a濃度
を算出

クロロフィル-a用



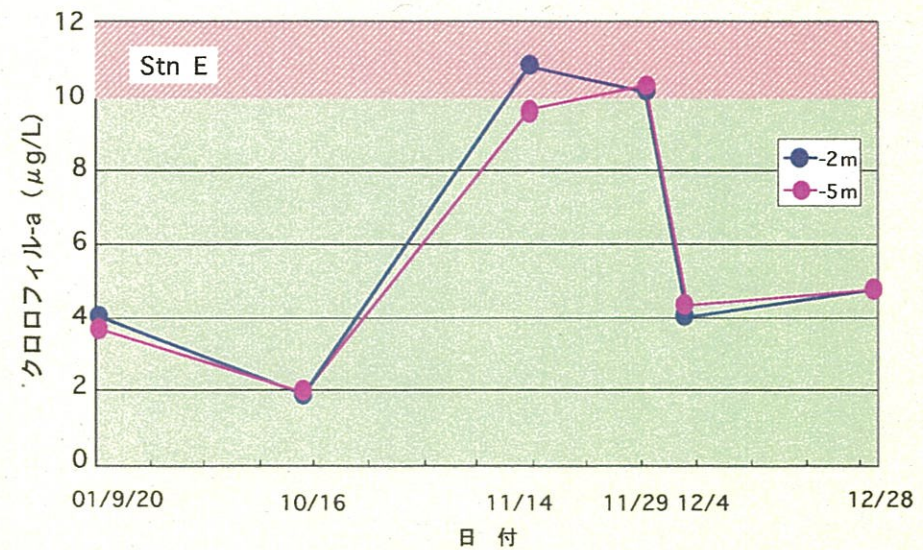
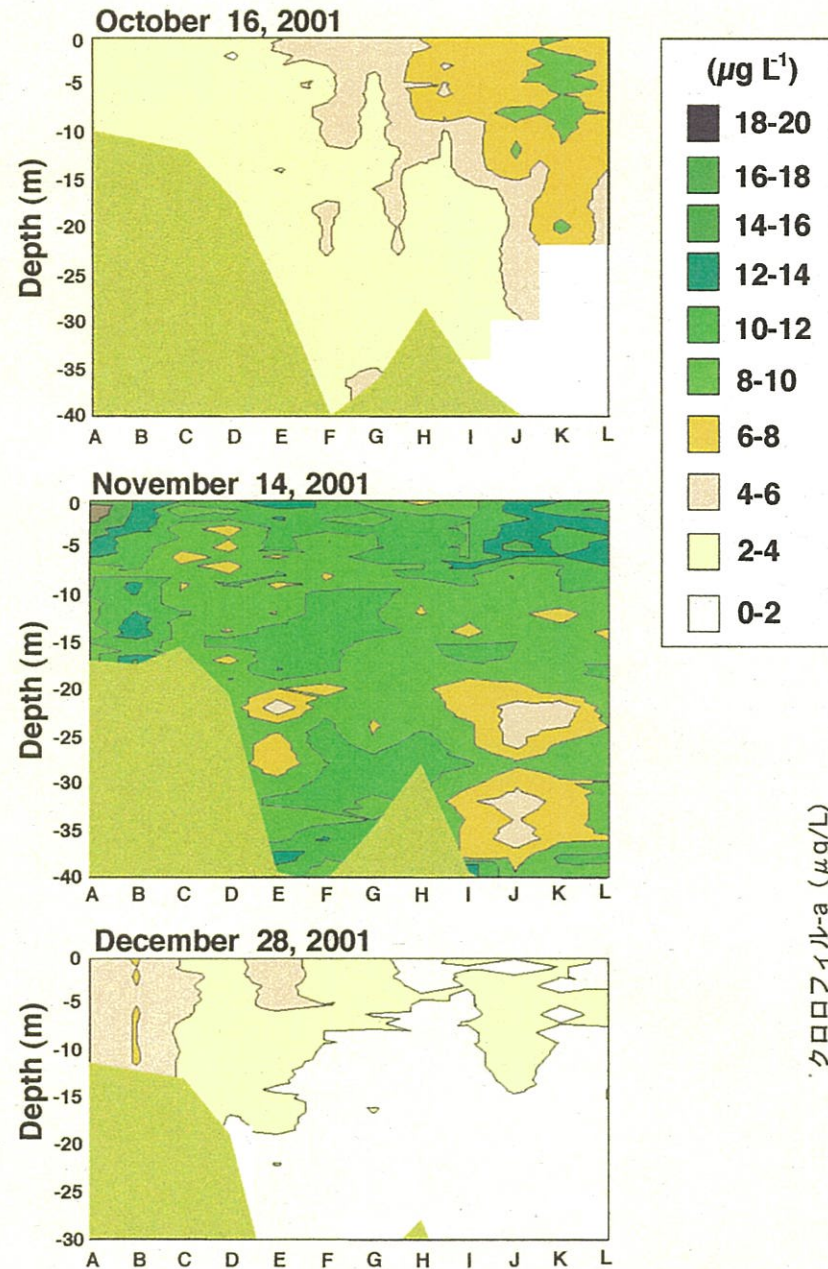
蛍光光度計にて
クロロフィル-a測定

栄養塩用

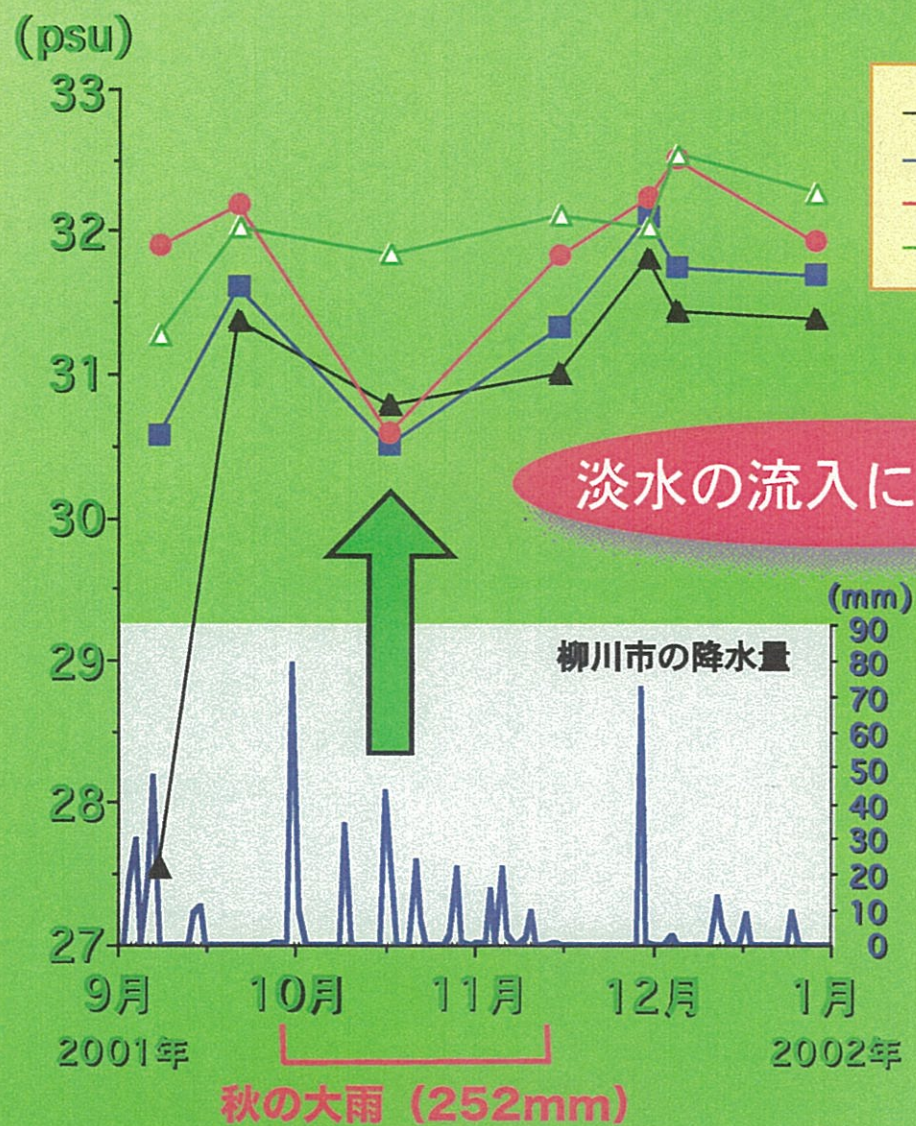


水質自動分析装置
にて分析

2001年11月 珪藻類の赤潮 (*Chaetoceros* spp.) 有明海全域で発生！



海水表面の塩分の変化

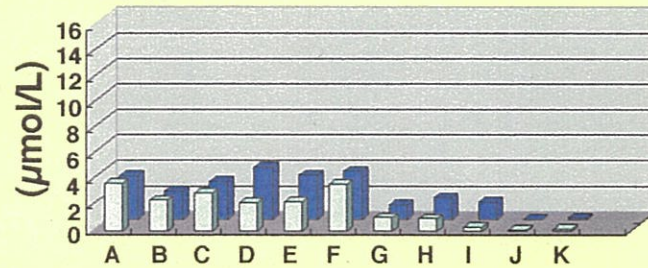


珪藻赤潮発生前後における栄養塩濃度の変化

(a) $\text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-N}$

2m 5m

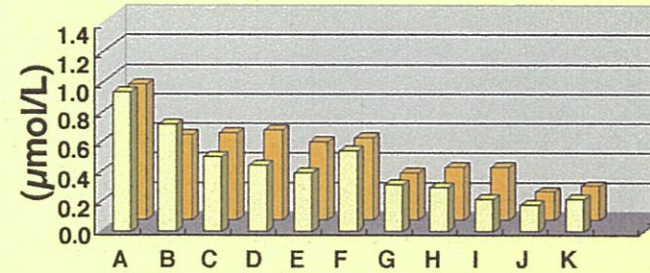
Sep. 20, 2001



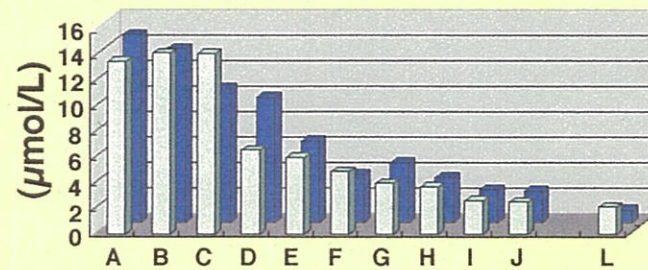
(b) $\text{PO}_4\text{-P}$

2m 5m

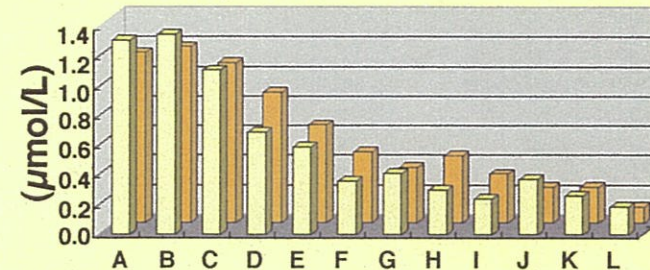
Sep. 20, 2001



Oct. 16, 2001

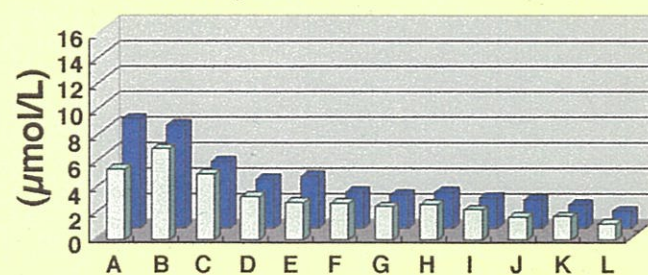


Oct. 16, 2001

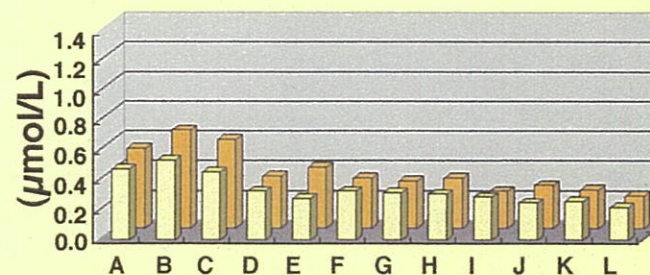


筑後川などの河川からから硝酸・亜硝酸性窒素が大量に流入する

Nov. 14, 2001



Nov. 14, 2001



秋季の大雨の発生



有明海奥部海域へ大量の河川水（高濃度の
栄養塩を含む）が流入する。



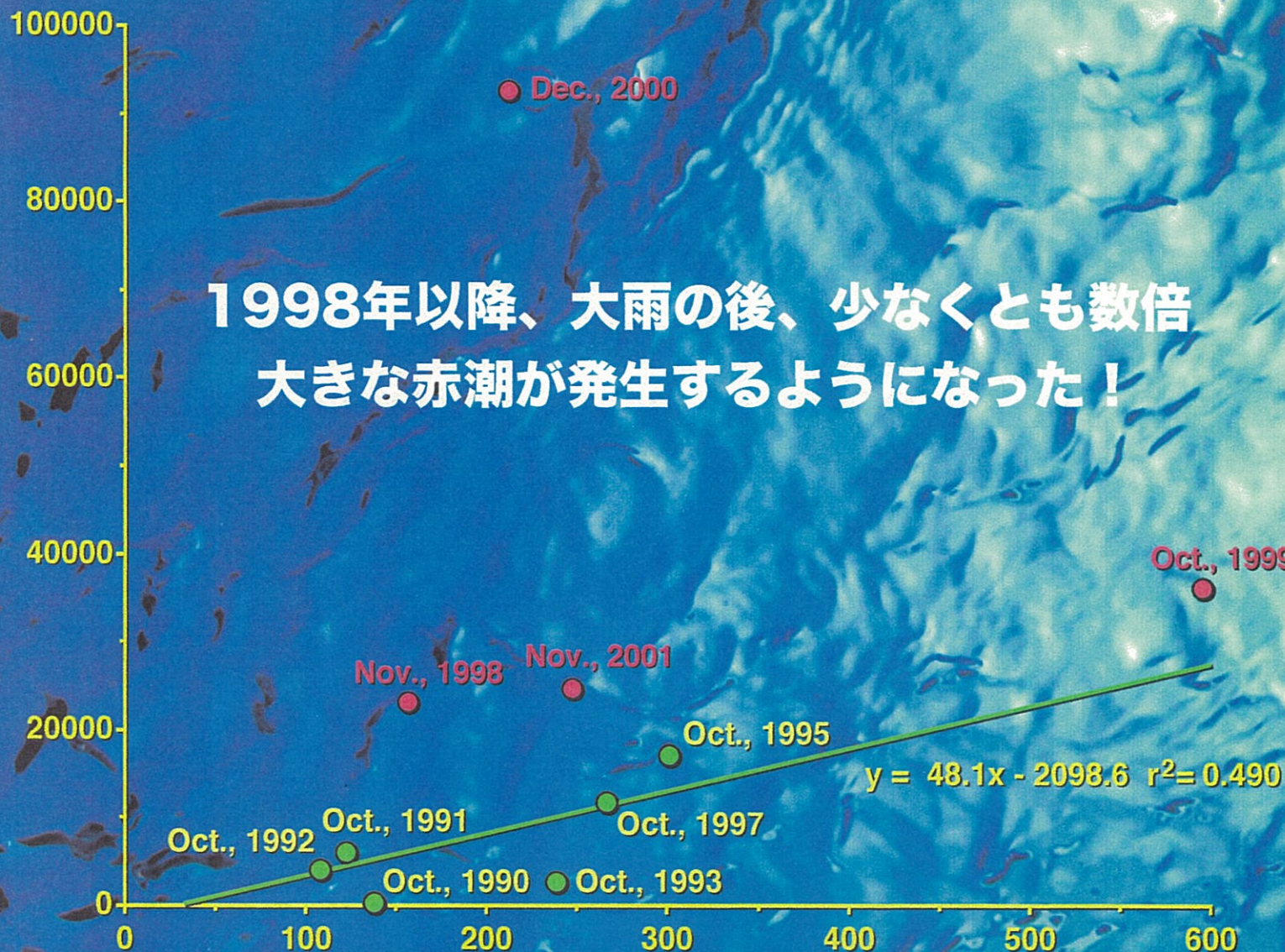
表層水の塩分低下、栄養塩濃度の急上昇



約1か月以内に、大規模な赤潮が発生する！

赤潮の発生規模指標

1998年以降、大雨の後、少なくとも数倍
大きな赤潮が発生するようになった！

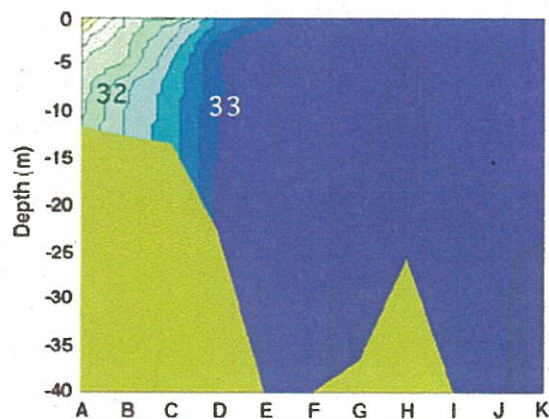
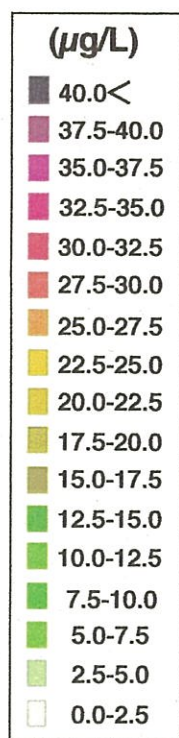
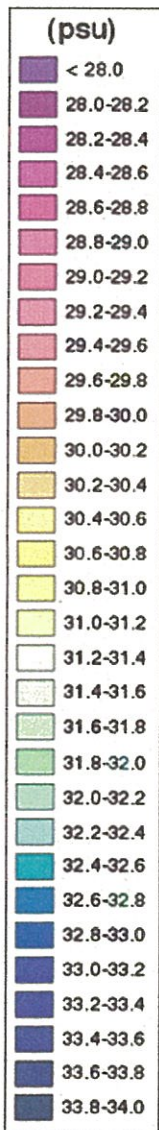


赤潮発生前月の有明海沿岸4カ所の平均雨量

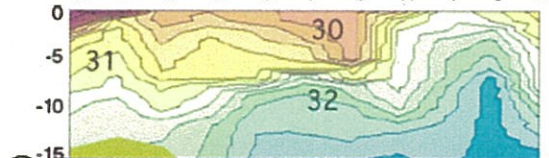
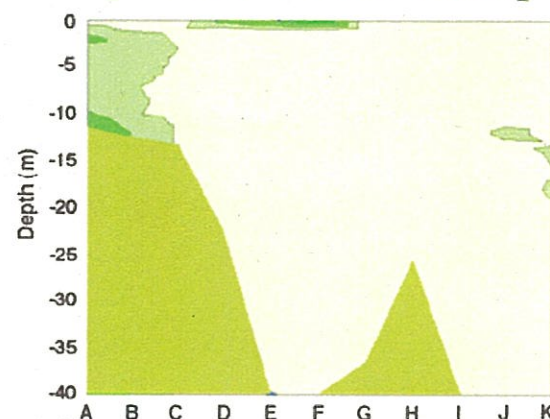
水産庁漁業調整事務所、「九州海域の赤潮」に掲載されたデータに基づく

[塩分]

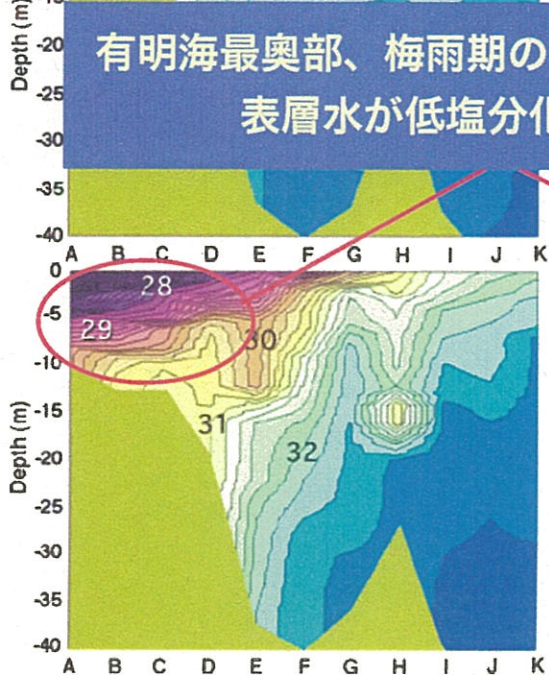
[クロロフィルa 濃度]



2002年
4月28日



有明海最奥部、梅雨期の大雨で大量の河川水が流入して
表層水が低塩分化し、赤潮が発生した！



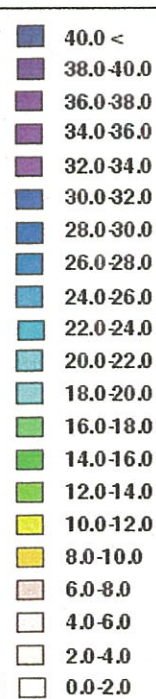
7月8日



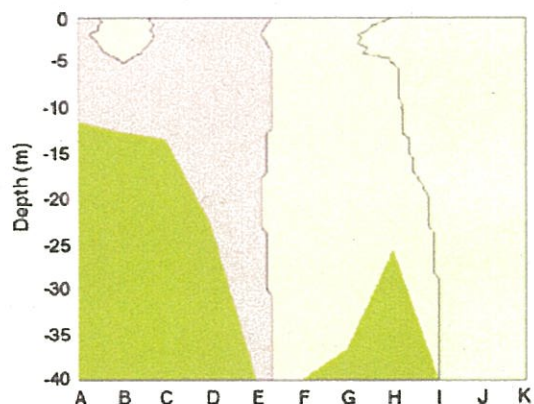
Skeletonema sp.

Ceratium furca

($\mu\text{mol/L}$)

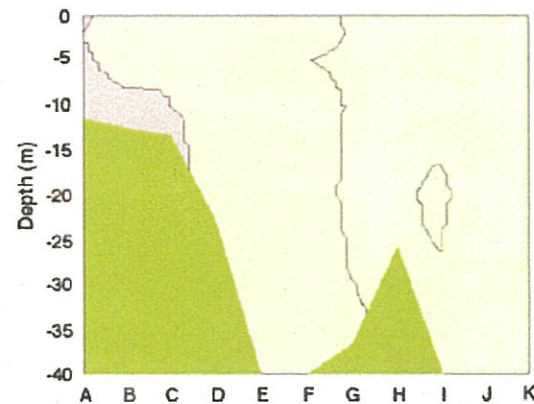


[DIN]

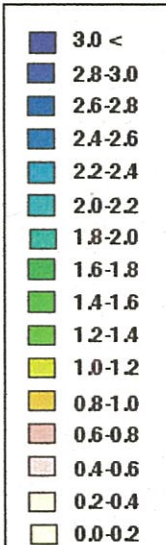


2002年
4月28日

[DIP]

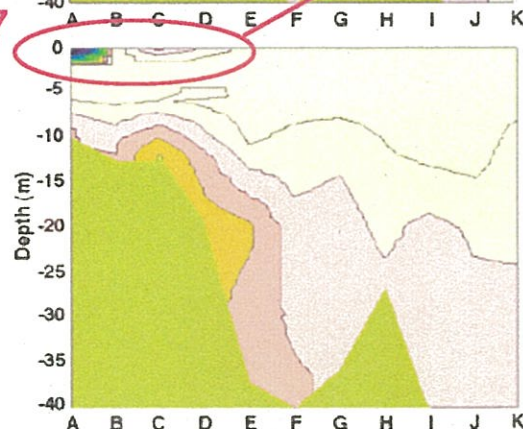


($\mu\text{mol/L}$)



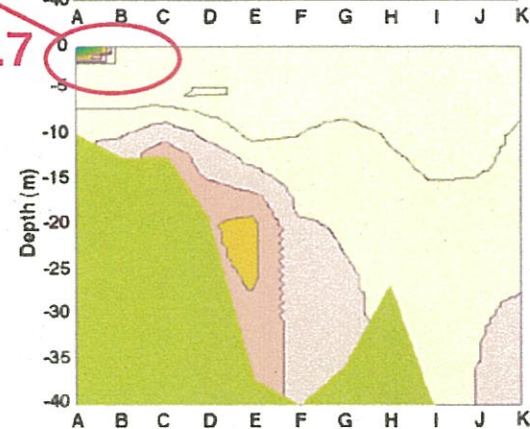
有明海最奥部の表層へ
河川水から栄養塩が供給された。

57



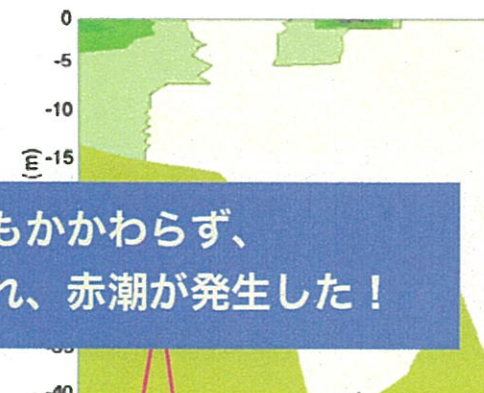
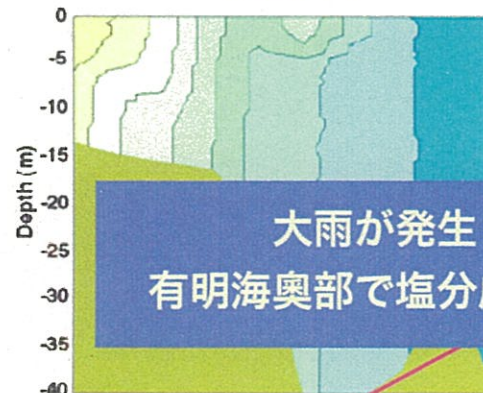
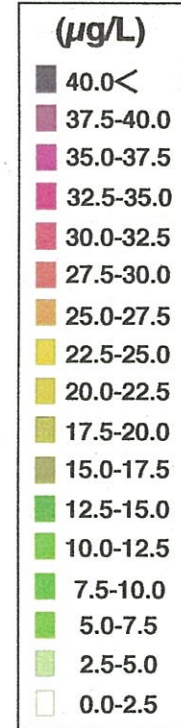
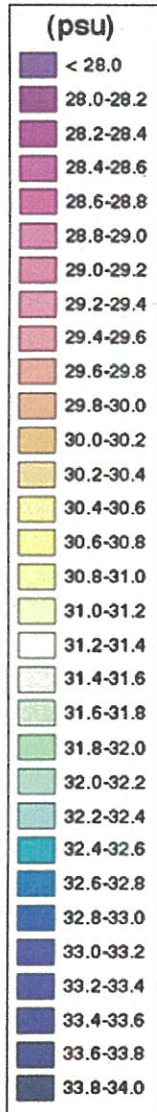
7月8日

2.7



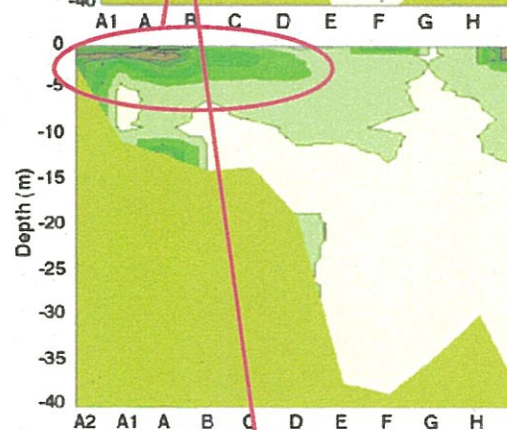
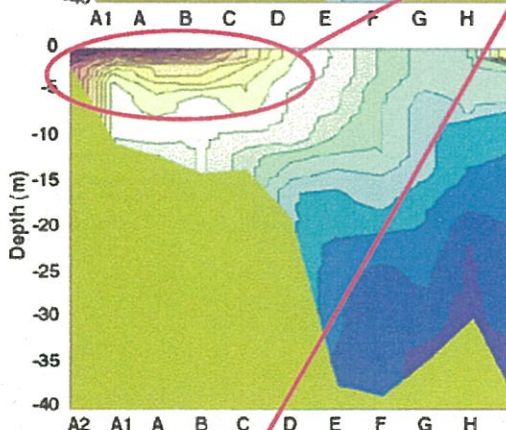
[塩分]

[クロロフィルa 濃度]

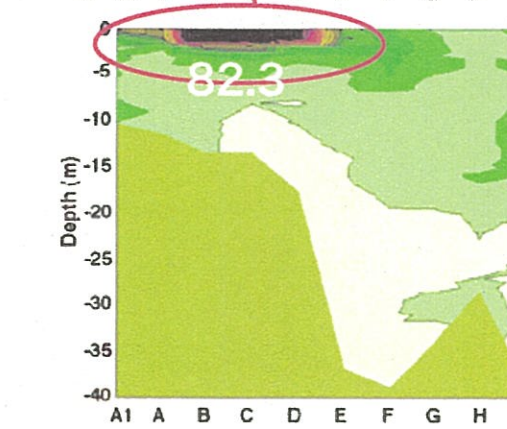
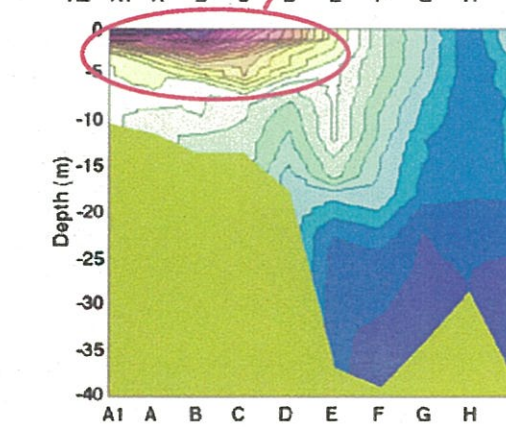


大雨が発生しなかったにもかかわらず、
有明海奥部で塩分成層が形成され、赤潮が発生した！

10月14日

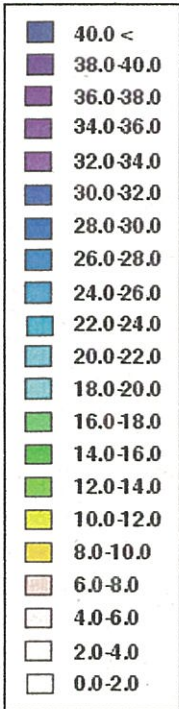


11月14日

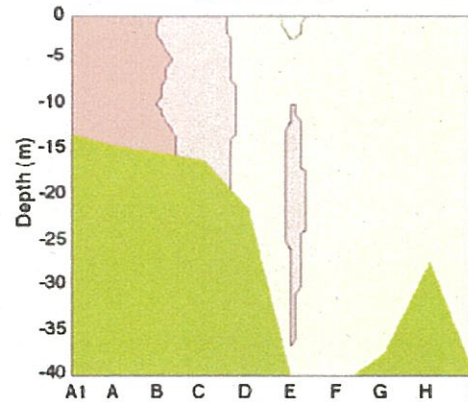


Gymnodium sanguineum

($\mu\text{mol/L}$)



[DIN]



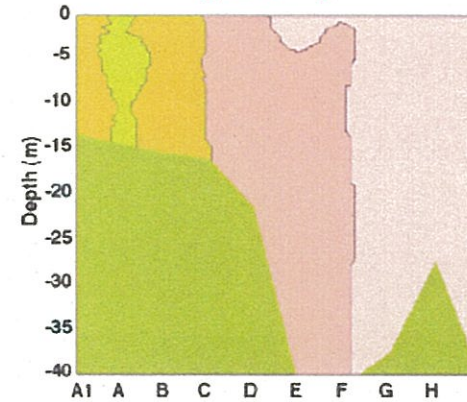
2002年
9月25日



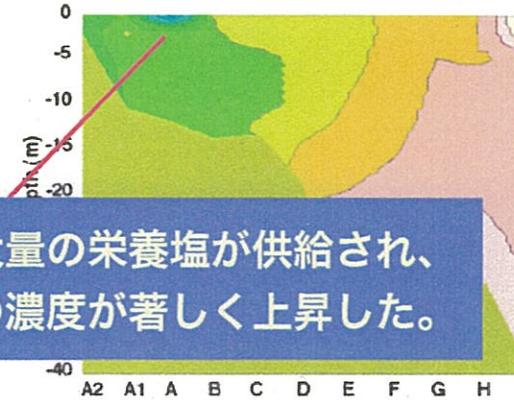
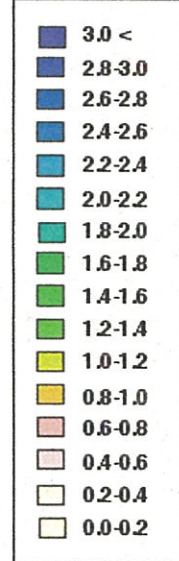
10月14日

有明海最奥部に、河川を通して大量の栄養塩が供給され、
塩分による成層構造により表層の濃度が著しく上昇した。

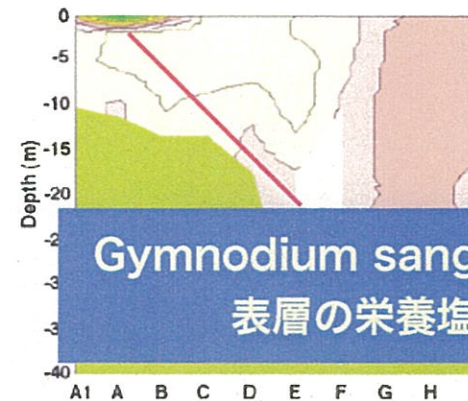
[DIP]



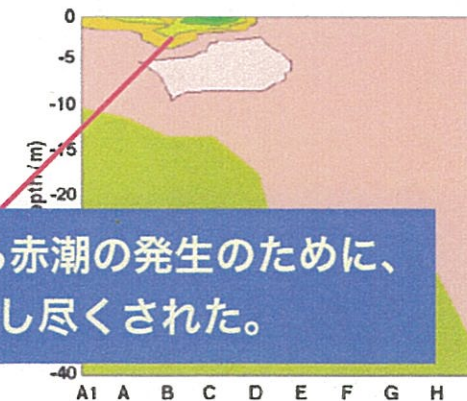
($\mu\text{mol/L}$)



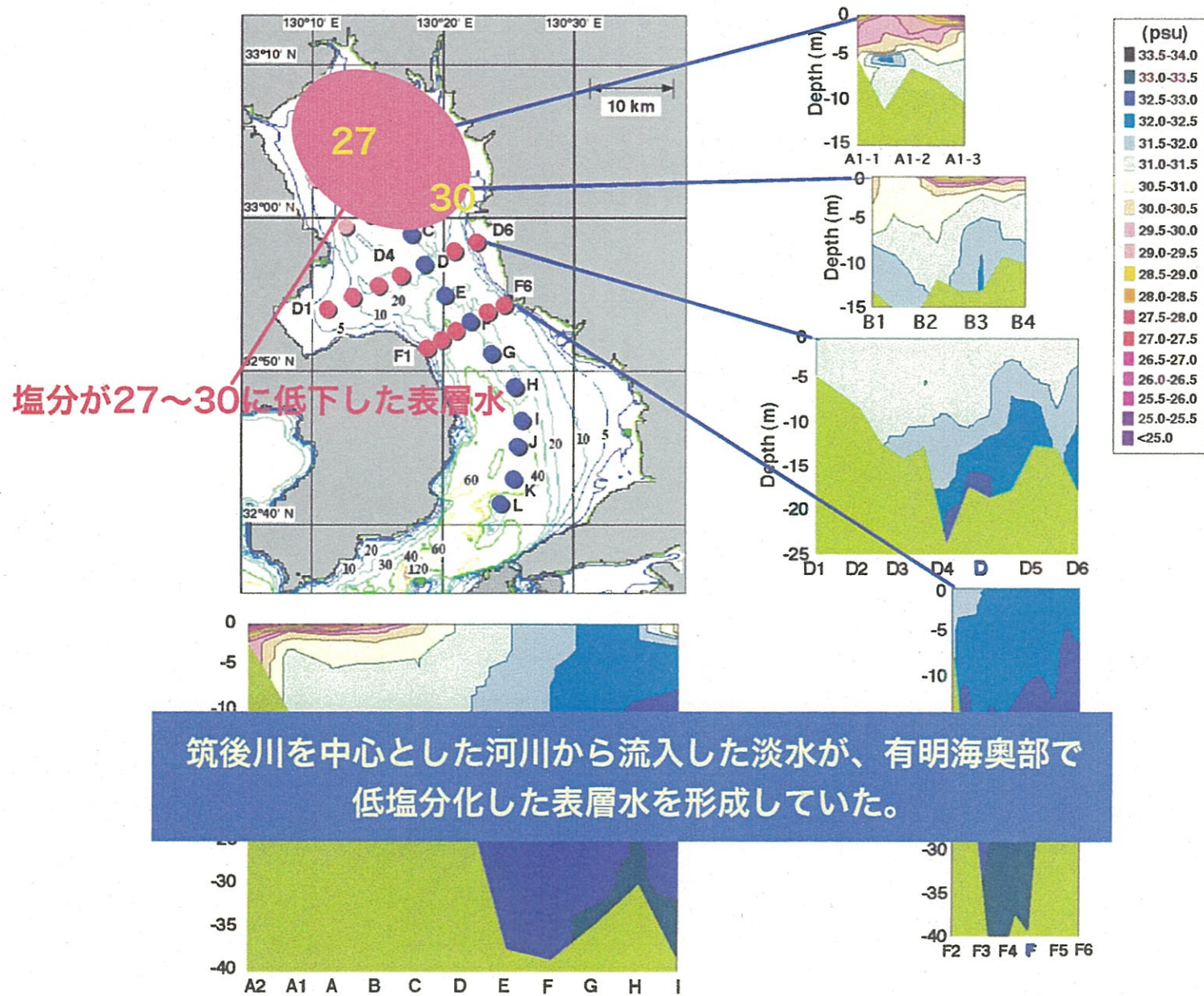
11月14日



Gymnodium sanguineum による赤潮の発生のために、
表層の栄養塩はほとんど消費し尽くされた。



Salinity October 14, 2002



[2002年の赤潮の発生パターン]

[7月]

梅雨期の大雨
(約250mmの降水量)



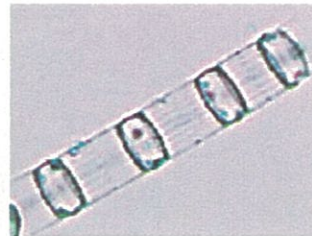
有明海奥部へ河川から淡水が流入し、
厚く (約10m) 低塩分層を形成された。



有明海奥部へ河川からの栄養塩が流入



珪藻類 *Skeletonema* sp.
による赤潮の発生



[11月～12月]

月間100mm程度の降水量
(少雨傾向)



有明海奥部へ河川から淡水が流入し、
薄く (約3m) 低塩分層が形成された。



有明海奥部へ河川からの栄養塩が流入



渦鞭毛藻類 *Gymnodium sanguineum*
による赤潮の発生



[秋季の赤潮の発生パターン]

[2000年]

11月1日～12月6日
平均降水量 198mm

[平均降水量]
諫早市、佐賀県白石町
柳川市、大牟田市

[2001年]

10月8日～11月6日
平均降水量 243mm

[2002年]

10月15日～11月15日
平均降水量 114mm (少雨傾向)

[有明海奥部]

河川から大量の栄養塩の流入？
塩分の成層構造の発達？

[有明海奥部]

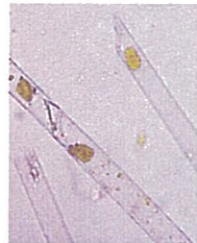
河川から大量の栄養塩の流入

[有明海奥部]

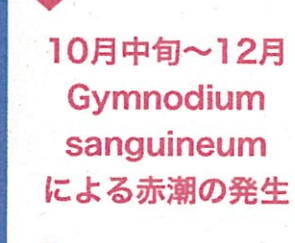
河川から大量の栄養塩の流入
の発達

3年連続で、ノリ養殖の漁場となる有明海奥部
海域で、規模の大きな赤潮が発生した。

少雨傾向が続いても赤潮が発生し、
ノリの色落ちが発生した！



12月～
Rhizosolenia
imbricata
大規模な赤潮の発生



10月中旬～12月
Gymnodium
sanguineum
による赤潮の発生

12月中旬～2月
養殖ノリ色落ちの発生
(佐賀県、福岡県、熊本県北部)



ノリ養殖
大豊作



1月～2月
養殖ノリ色落ちの発生
(佐賀県、福岡県、熊本県北部)



[http://www.jfa.maff.go.jp/ariakenori/negai/final%20report\(ariake-nori\).htm](http://www.jfa.maff.go.jp/ariakenori/negai/final%20report(ariake-nori).htm)

最終報告書－有明海の漁業と環境の再生を願って

03.3.17 09:08 PM

最終報告書

－有明海の漁業と環境の再生を願って

平成15年 3月27日

農林水産省
有明海ノリ不作等対策関係調査検討委員会

2003年3月27日

最終報告書－有明海の漁業と環境の再生を願って

農林水産省ノリ不作等対

策関係調査検討委員会

はじめに

本委員会は2000年度のノリの大不作を契機として、有明海の漁業生産の不振の原因を究明し、今後の対策を提言することを目的として2001年3月に発足した。その

[http://www.jfa.maff.go.jp/ariakenori/negai/final%20report\(ariake-nori\).htm](http://www.jfa.maff.go.jp/ariakenori/negai/final%20report(ariake-nori).htm)

ページ 1 / 17

農林水産省、有明海ノリ不作等対策関係調査検討委員会
最終報告書（平成15年3月27日）の問題点

有明海の環境

3. 赤潮

（途中省略）

2002年と豊作
発生した。

（途中省略）

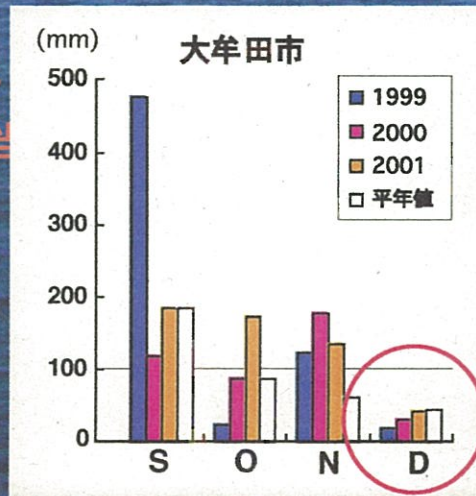
2001年度は10月あたりに相当栄養塩の供給があり、11月に高い日射が続いて赤潮が発生したが、12月に入って大雨が降って赤潮はいったん終息した。

（途中省略）

1月、2月になって赤潮が発生し
塩さえあれば赤潮が起きるのは当

2001年に赤潮が発生したのは、10月～11月

12月以降、大雨は降っていない。もし、大雨（月間200mm程度）
が降っていたら再び赤潮が発生して、ノリは色落ちしていたはず！



射量が増えるので、栄養

農林水産省、有明海ノリ不作等対策関係調査検討委員会
最終報告書（平成15年3月27日）の問題点

有明海の環境

3. 赤潮

（途中省略）

2002年と豊作であった2001年の両年とも降雨の後に日射が続いて12月に赤潮が発生した。

（途中省略）

2001年度は10月あたりに相当栄養塩の供給があり、11月に高い日射が続いて赤潮が発生したが、12月に入って大雨が降って赤潮はいったん終息した。

（途中省略）

1月、2月になって赤潮が発生したが、これは長くなって日射量が増えるので、栄養塩さえあれば赤潮が起きるのは当然とも言える。

冬季に赤潮が発生するのは当たり前なのでしょうか？

1月、2月に日射量が増えて赤潮が起きやすくなると評価するのであれば、12月以外はすべての月で赤潮が起きやすいことになる。

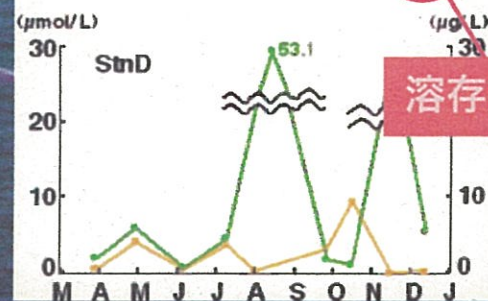
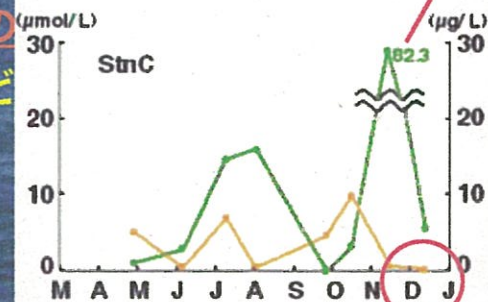
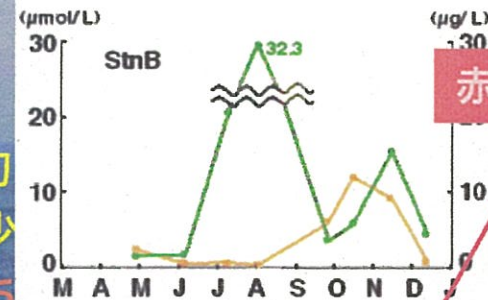
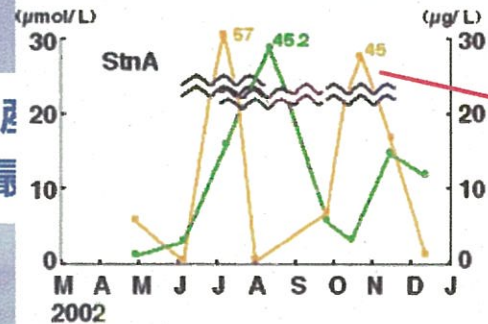
農林水産省
最

栄養塩の流入
（7日）の問題点

3. ノリ養殖

3.2 ノリと環境要因

2002年度は1月中旬
含む夏以来の降雨が少
旬からのノリの色落ち
る。このように漁期の
えられる際、減柵など
かが課題である。



赤潮の発生

しておらず、栄養塩不足は梅雨期も
供給が少なかったためであり、1月中
消費したことが原因と考えられてい
、降雨の状況から供給も少ないと考
て自然の許す範囲内で生産を上げる

溶存態無機窒素 (DIN) の枯渇

農林水産省、有明海ノリ不作等対策関係調査検討委員会
最終報告書（平成15年3月27日）の問題点

有明海の環境

2. 水質と底質

（途中省略）

全窒素濃度（T-N）、全リン濃度（T-P）の経年変化については1980年以後しか連続的なデータがないが、どちらもほぼ横ばいの傾向である。また、各県のDINやリン酸濃度（PO₄-P）は、1980年代と1990年代とを比較すると、経年変化はほとんど見られず、

大き

—— 今、明らかにすることが求められていることは何か？ ——

有明海奥部への栄養塩の負荷量は増加していないのに、なぜ大規模な赤潮が頻発してノリ養殖の脅威となり、夏季には貧酸素水塊が発生するのか？

おわ

（途

このような海洋学的な異変に、諫早湾干拓事業が関連していないか？

国調費では流入負荷の削減と底質改善の効果についてモデルを用いてシミュレーションを行った。まず負荷については現状の5、10、40%削減の3ケースを検討したが、40%削減しないと、COD、T-N、T-Pの水中濃度も赤潮発生もその抑制効果は顕著でない。

有明海奥部海域における大規模な赤潮発生メカニズム

有明海奥部の表層水の低塩分化（塩分成層の発達）



河川（筑後川）からの栄養塩の流入

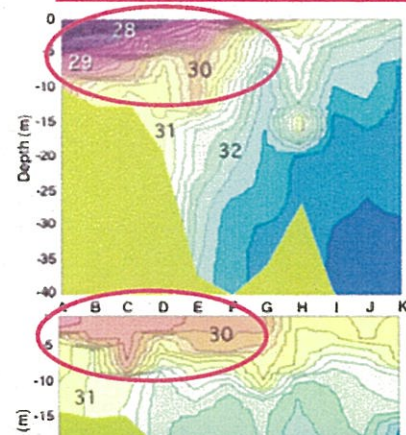
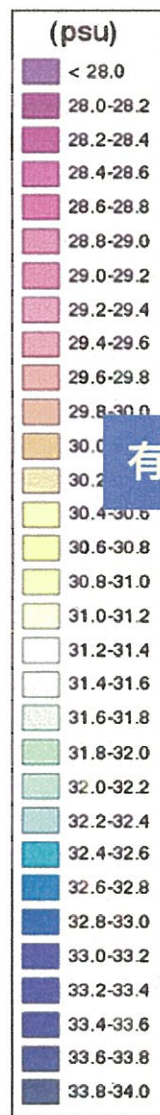


有明海奥部の表層水の栄養塩濃度の急激な上昇

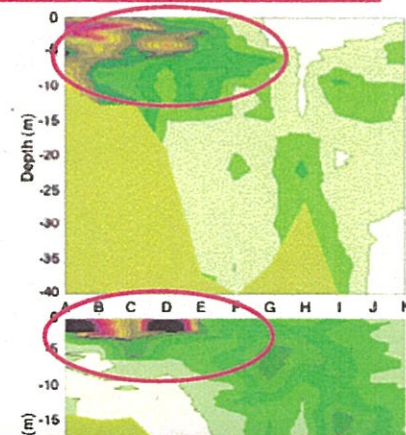


大規模な赤潮の発生

2002年赤潮発生時における海洋構造（塩分）の共通性（縦断面）



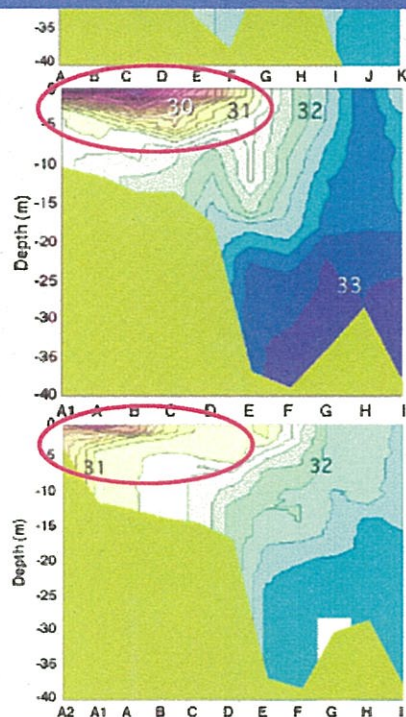
7月8日



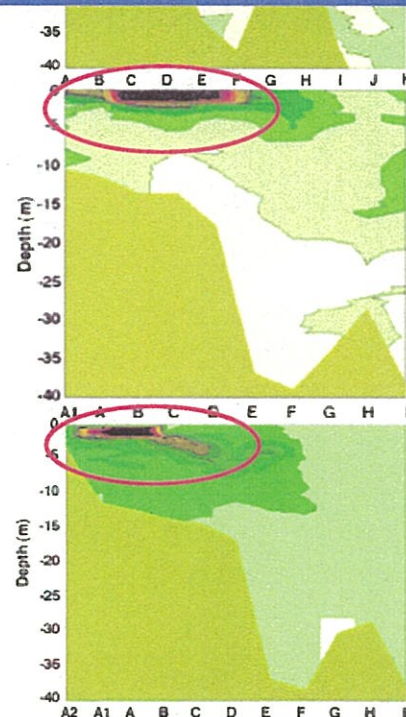
有明海最奥部の表層の低塩分化

7月31日

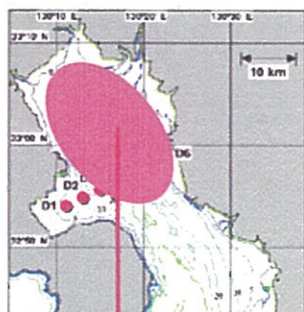
低塩分化表層水で赤潮の発生



11月14日

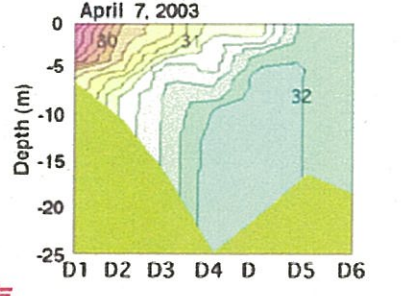
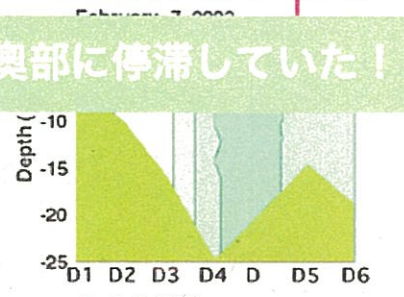
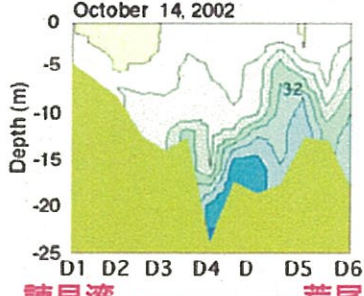
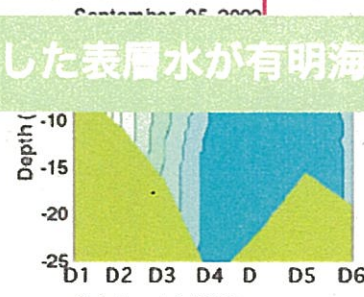
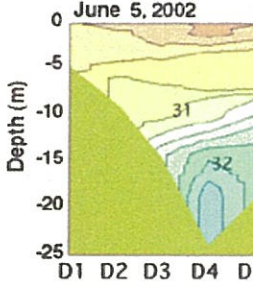
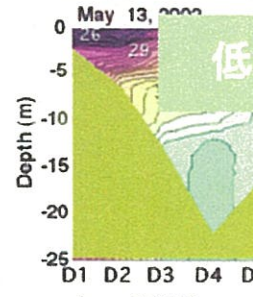
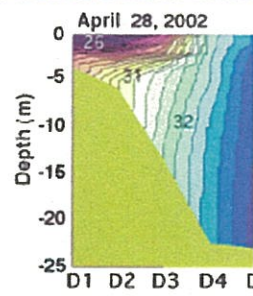
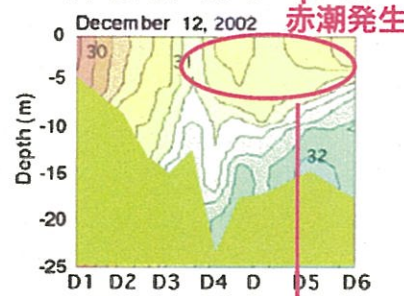
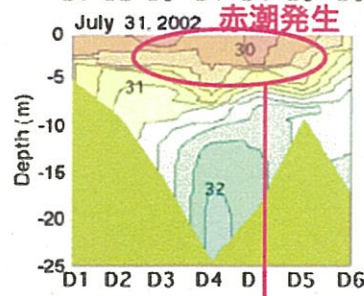
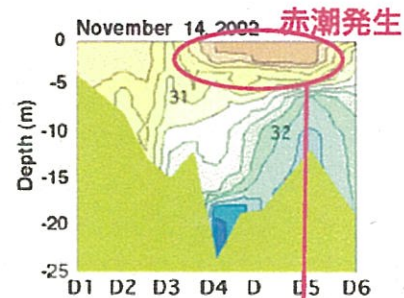
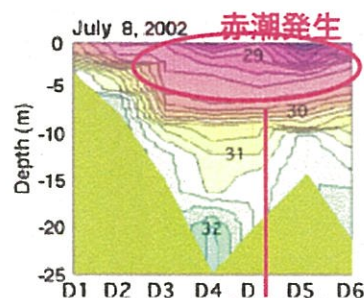


12月12日



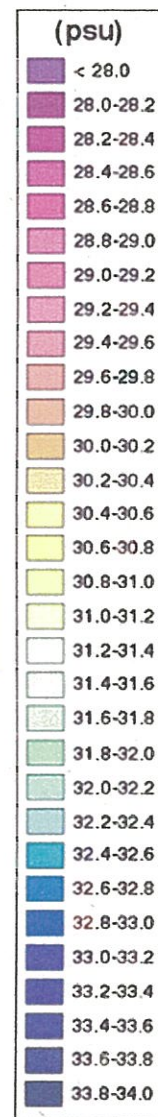
低塩分化した表層水

2002年赤潮発生時における海洋構造（塩分）の共通性（横断面）



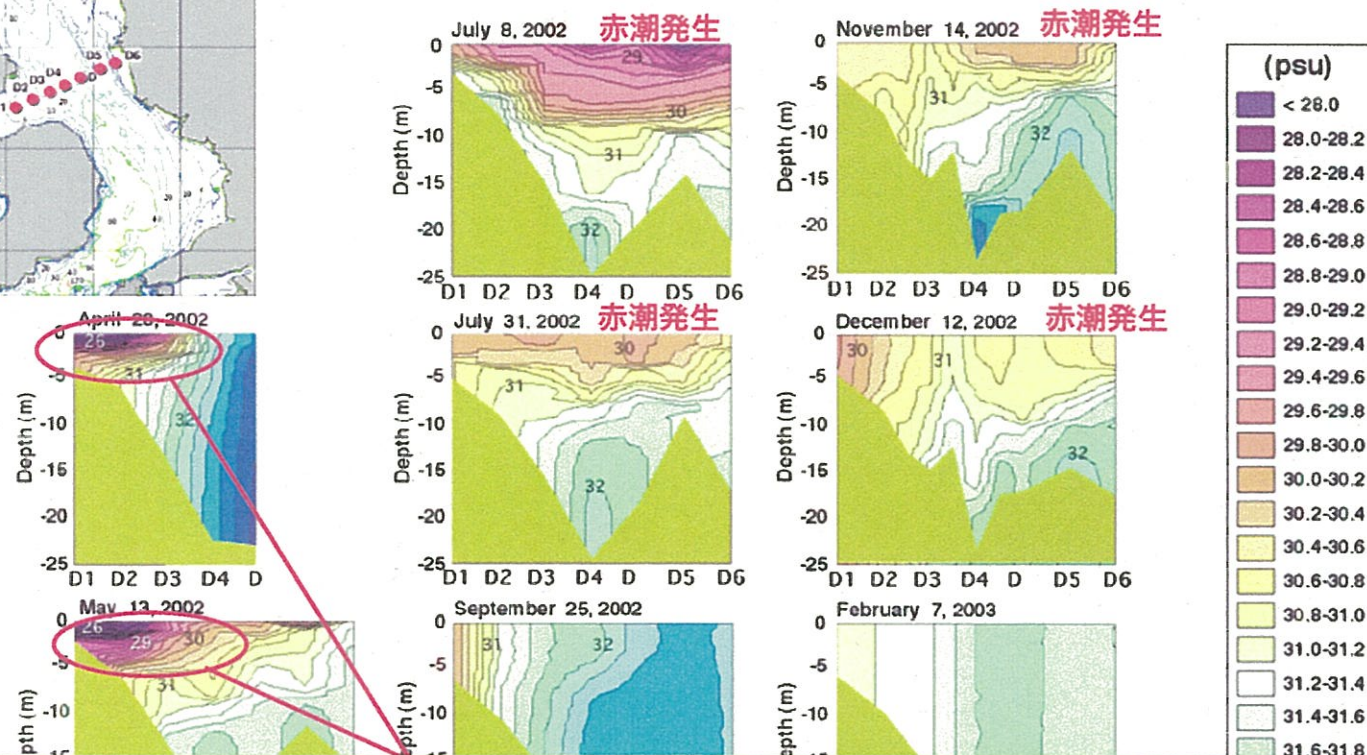
低塩分化した表層水が有明海奥部に停滞していた！

諫早湾 ——— 荒尾市

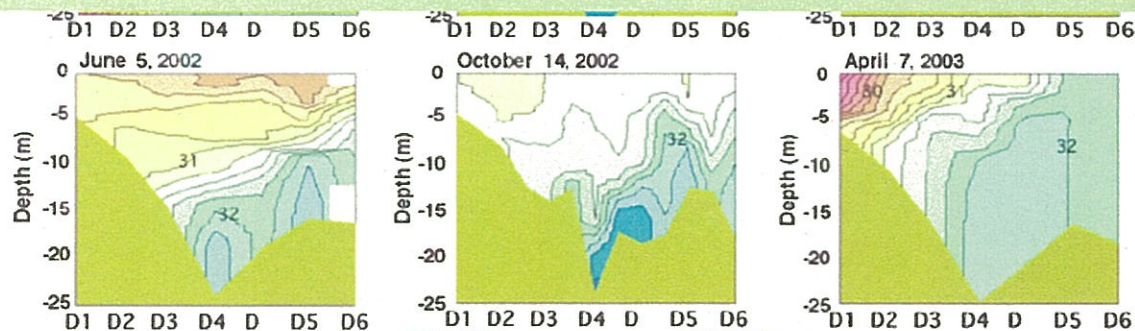




＊ 赤潮発生時と対照的な海洋構造（塩分） ＊

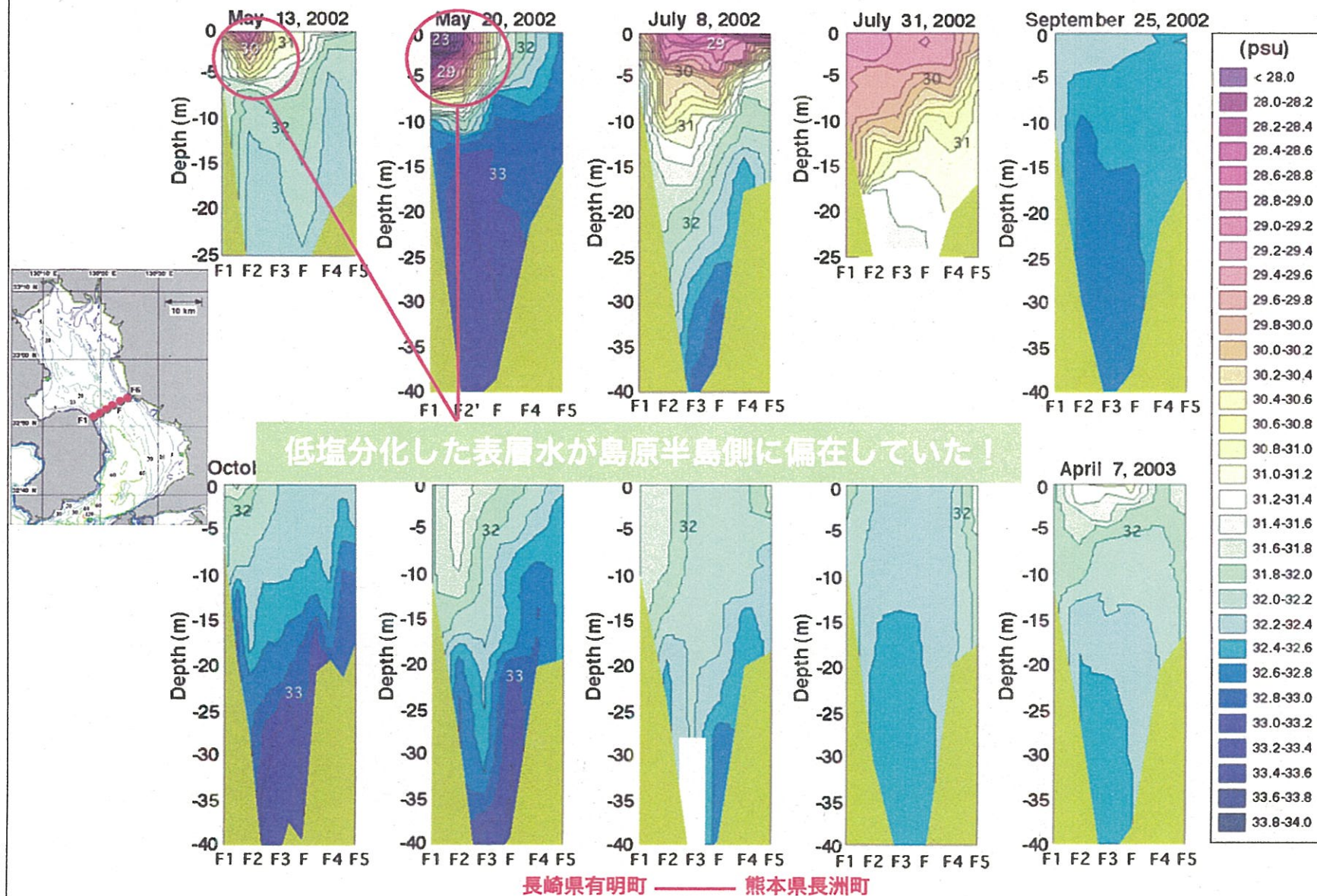


低塩分化した表層水が諫早湾内～有明海奥部の西海岸側に偏在していた！

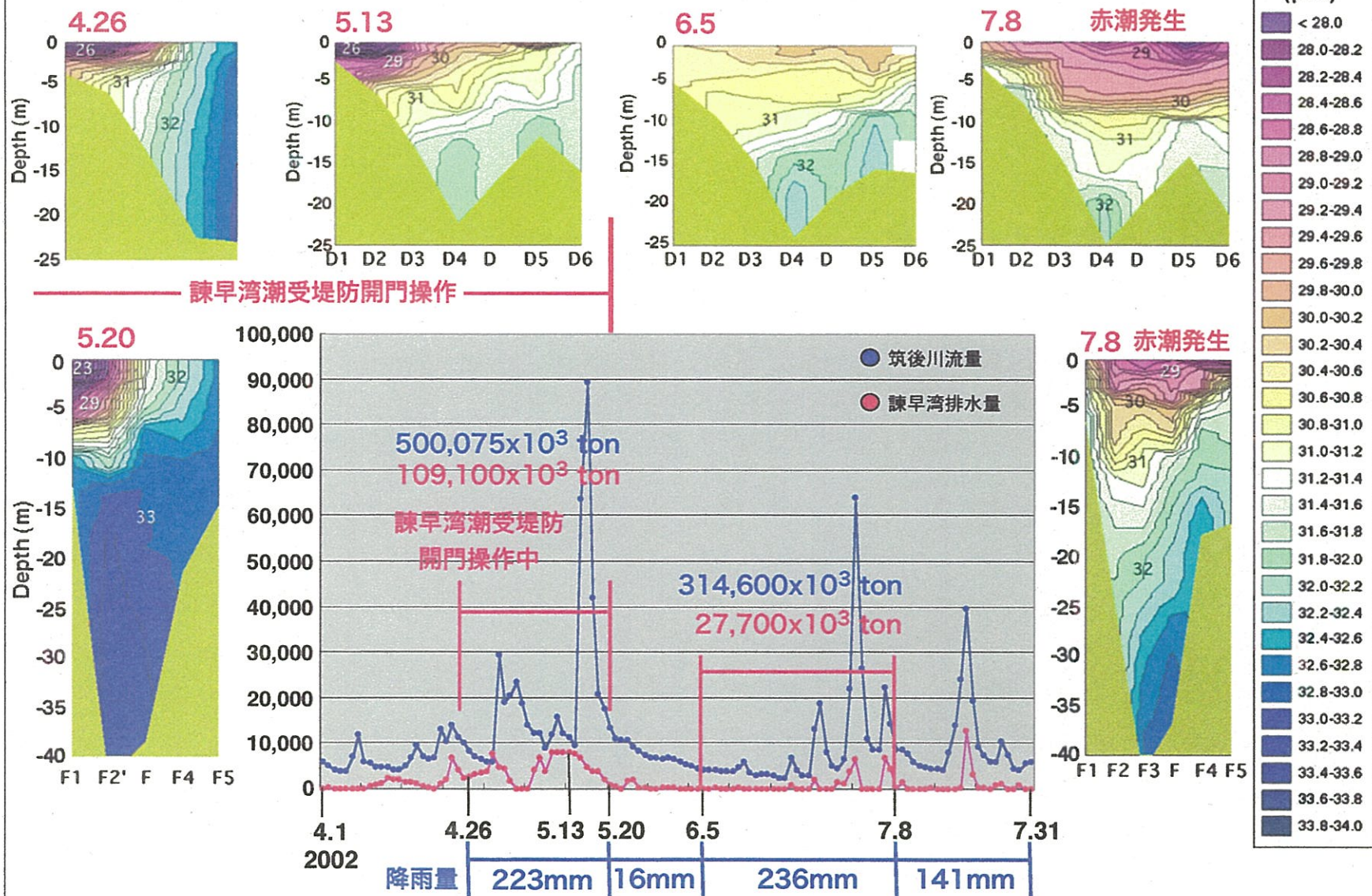


諫早湾 ——— 荒尾市

塩分の鉛直プロファイル



諫早湾潮受堤防・短期開門調査の検証



有明海の空撮 2002.4.26



撮影：熊本県民テレビ (KKT)

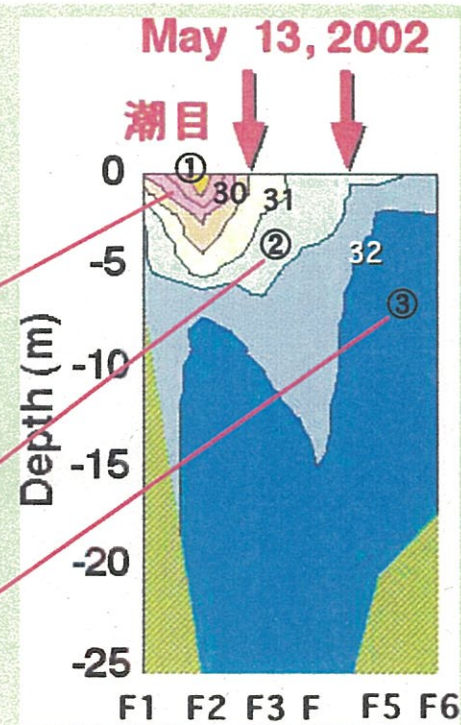


2002年4月26日、熊本県荒尾市上空から
島原市、雲仙を望む位置で撮影

① 諫早湾からの排水によって
生じた低塩分の表層水

② 有明海最奥部に流入した河
川水の影響を受けた表層水

③ 外海から侵入した高塩分の
海水



塩分の鉛直プロファイル

有明海の空撮 2002.7.31



開門操作期間

2001.4.24~5.20

4.26 (空撮)

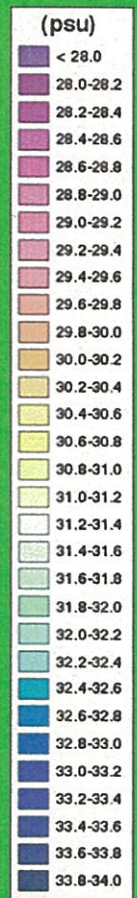
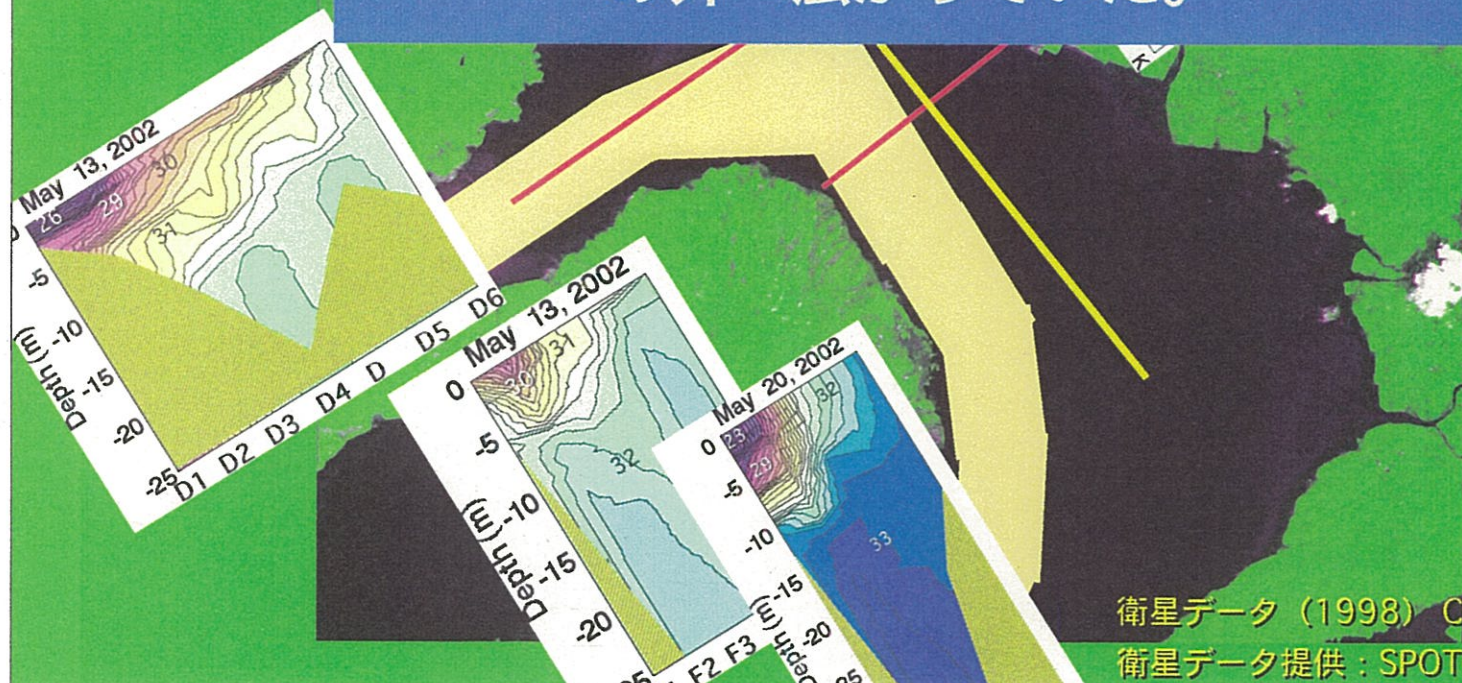
4.28

5.13

5.19 (空撮)

5.20

低塩分化した表層水が有明海奥部海域
の外へ広がっていた。



衛星データ (1998) COPYRIGHT CNES
衛星データ提供: SPOT® / 宇宙開発事業団

開門操作終了後

2001.6.5~7.31

6.5

6.7 (空撮)

7.8

7.31 (+空撮)



(1998) COPYRIGHT CNES

提供: SPOT® / 宇宙開発事業団

有明海奥部海域における大規模な赤潮発生のメカニズム

1997年4月：諫早湾の潮受堤防の締め切り

有明海奥部海域の潮位変動、流速の減少



筑後川から流入した淡水の移流・鉛直混合の低下

有明海奥部の表層水の低塩分化（塩分成層の発達）



河川（筑後川）からの栄養塩の流入



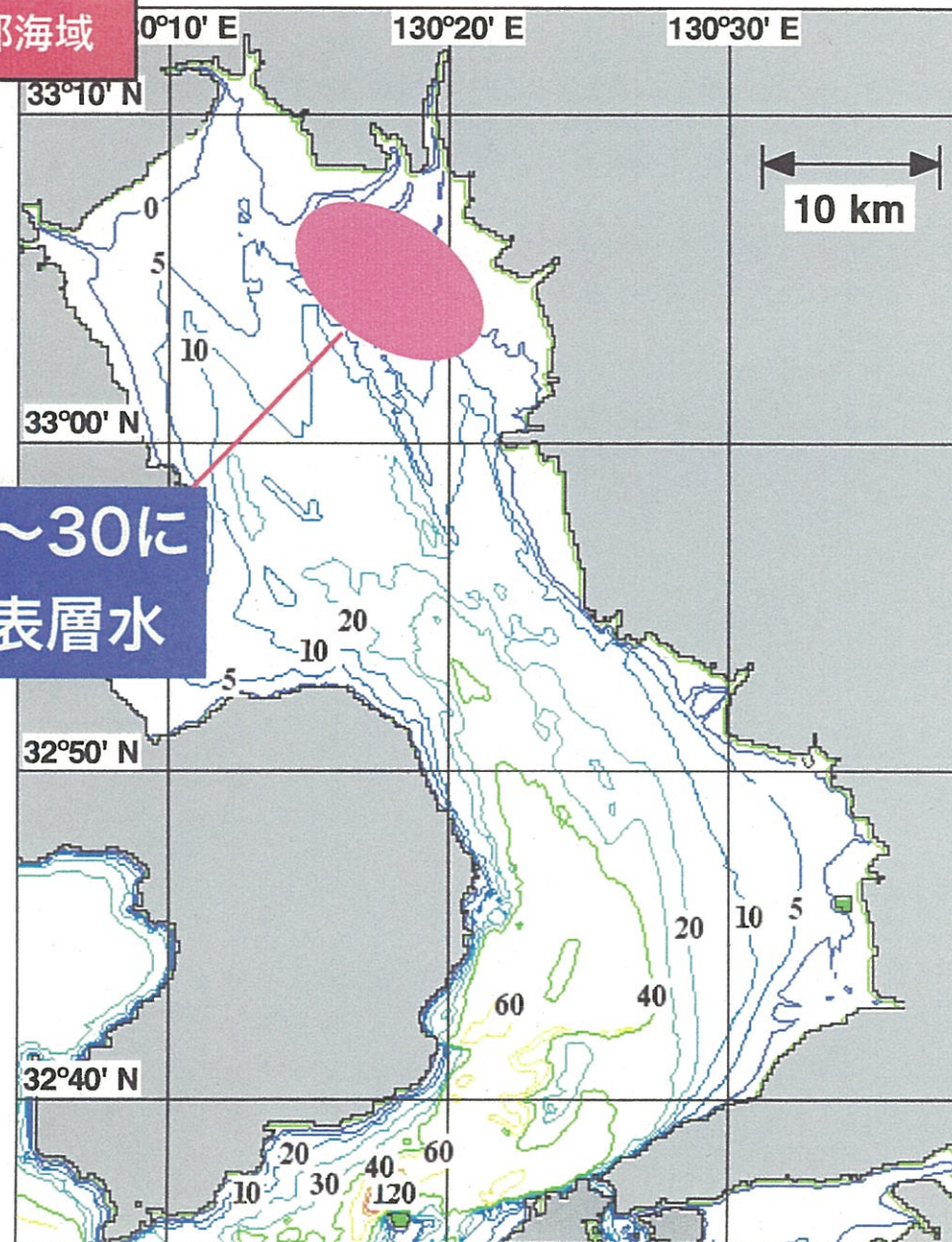
有明海奥部の表層水の栄養塩濃度の急激な上昇



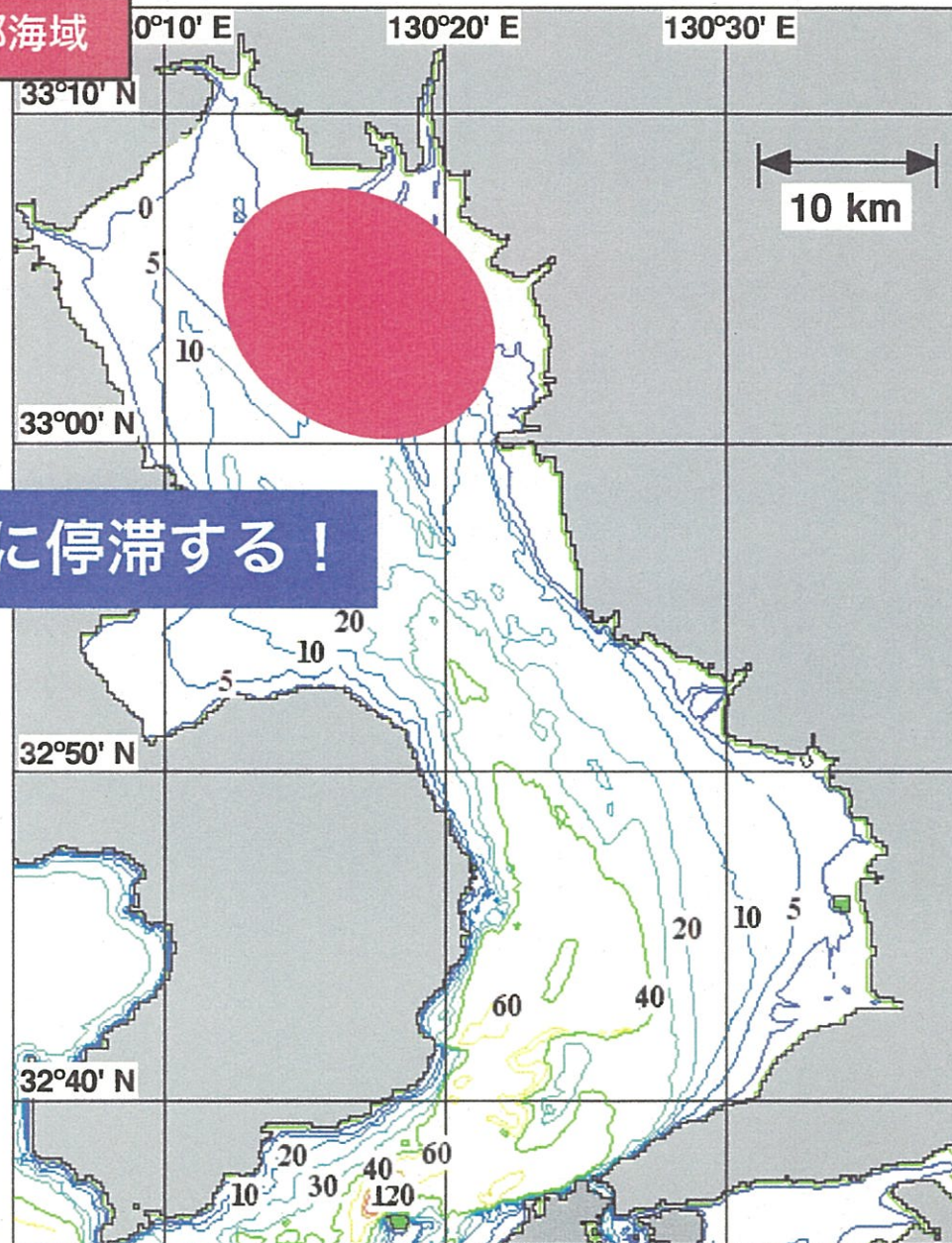
大規模な赤潮の発生

現在の有明海奥部海域

塩分が27～30に
低下した表層水

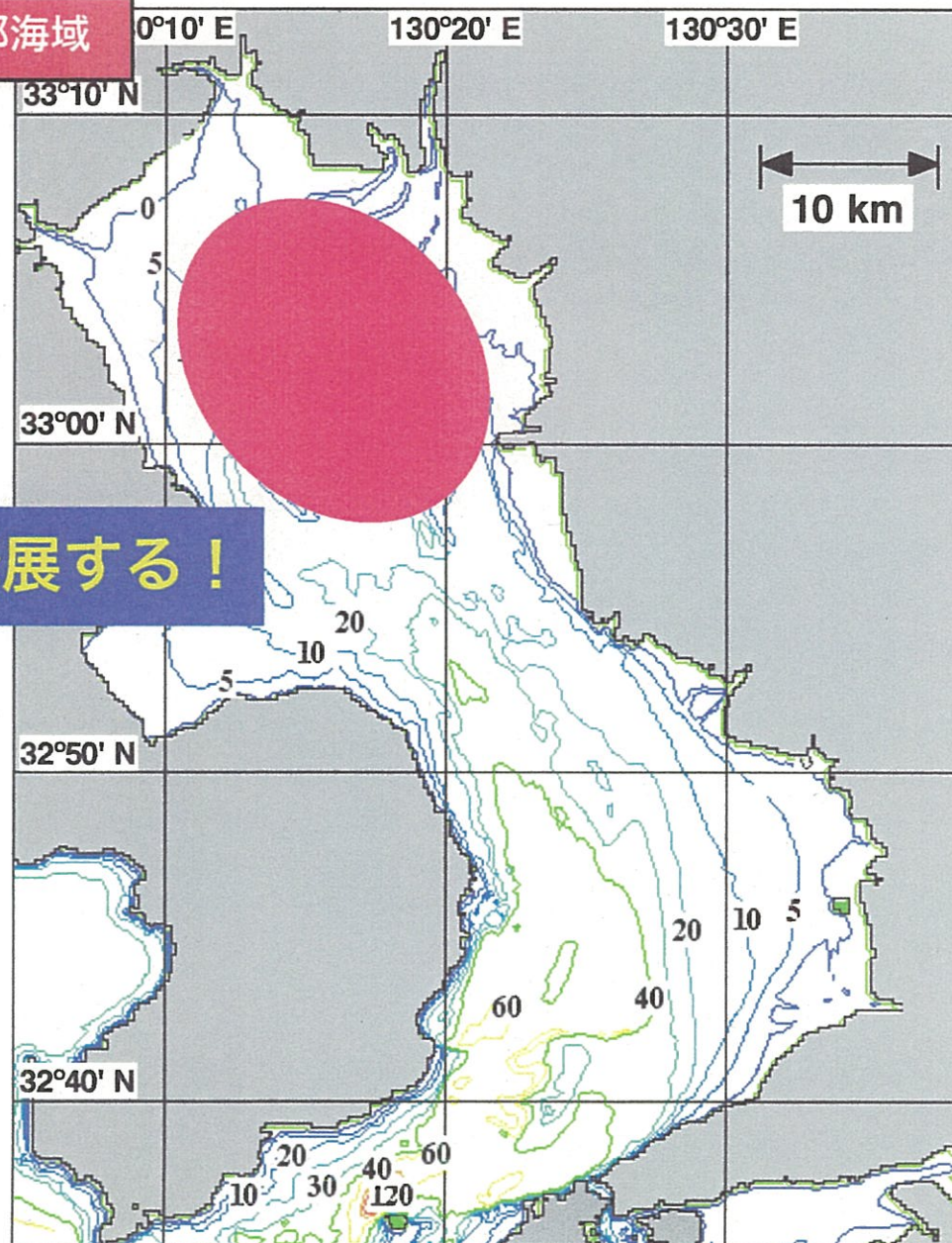


現在の有明海奥部海域

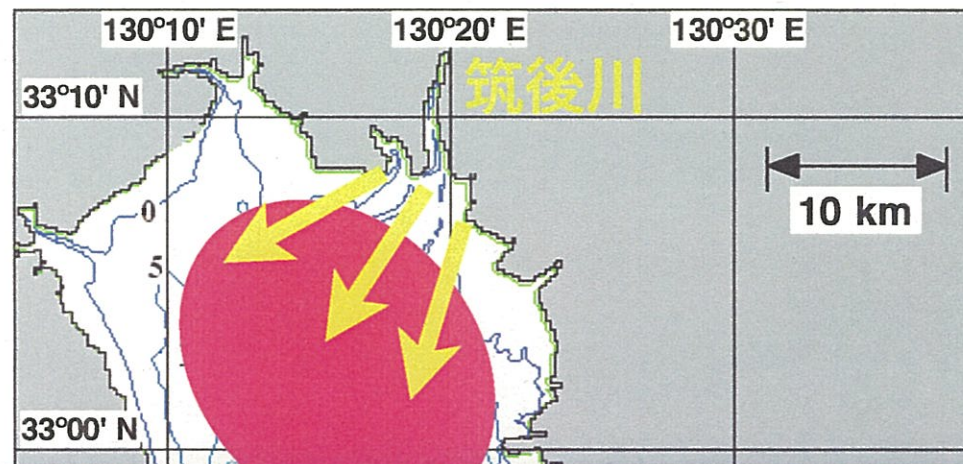


奥部海域に停滞する！

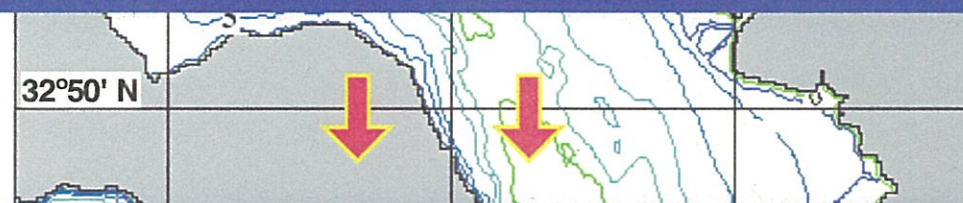
現在の有明海奥部海域



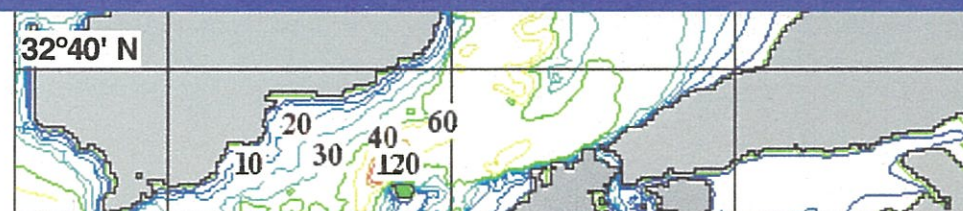
赤潮に発展する！



赤潮発生の原因となる筑後川からの流入水の
移流・混合に対する諫早湾潮受け堤防の影響



中長期の潮受け堤防開門調査の必要性



これまでの調査研究の問題点

1. 赤潮の発生に関して、調整池の水質や排水に注目が集まり、栄養塩負荷がどこから行われているか？という問題の本質が見逃されていた。
2. 有明海の水質調査（浅海定点調査）の方法に改善すべき点が多く、この調査では現状の有明海の異変を観測することは難しい。

調査定点の配置

調査精度（鉛直プロファイルが求められない）

プランクトン沈殿量

有明海の海洋構造の現状

諫早湾における潮受堤防の建設によって、有明海奥部で発生する低塩分化した表層水が有明海の外へ流出する量を大幅に減少させた。



有明海奥部海域、特に東側海域での塩分成層の発達



大量の栄養塩が流入すると、
大規模な赤潮の発生



栄養塩の枯渇



夏の高水温期には底層
で貧酸素水の発生



底生生物の死滅

— 論文 —

有明海の塩分と河川流量から見た海水交換の経年変動*

柳 哲雄[†]・阿部 良平[‡]

要 旨

有明海における1990-2000年の毎月の塩分観測データと河川流量データをもとに、河川水の平均滞留時間の経年変動を調べた。その結果、有明海における河川水の平均滞留時間は基本的には河川流量の大小に依存していて、河川流量が大きい時短く、河川流量が小さい時長くなるが、同じ河川流量に対しては近年の平均滞留時間が短くなっていて、有明海と外海の海水交換はよくなってきていることがわかった。これは有明海の潮流振幅が近年減少し、そのために河口循環流が強化されたためであると考えられる。

キーワード：有明海、海水交換、平均滞留時間、河口循環流、潮流振幅

1. はじめに

有明海は1979年には漁獲高14万トン/年を誇った豊かな海であったが、その後漁獲量は減少を続け、1999年には2万7千トン/年まで落ち込んでいる(朝日新聞西部版, 2001年2月16日朝刊)。また冬季、有明海の沿岸海域では16万トン/年(全国生産量の約4割)に達するノリ養殖が行われてきたが、2000-2001年の冬季には珪藻赤潮が発生して、ノリの収穫量は平年の6割にまで落ち込んだ(川村, 2002)。

このようなノリ不作に関連して、地元漁民からは1988年に開始され1997年に潮受け堤防が締め切られた諫早湾干拓により、有明海の干満差・潮流振幅が減少し、海水交換が悪くなり、植物プランクトンの増殖が容易になったことがノリ不作の一因であるという意見が出されている。

一方、宇野木(2002)は、有明海の大浦では1985-1999

年にM₂分潮潮流振幅が5cm減少したこと、塚本・柳(2002)は、それに伴って湾口部の潮流振幅が約5%減少したこと、その主な原因は有明海外の潮流振幅減少にあり、諫早湾潮受け堤防締め切りによる影響は1-2割程度であることを明らかにした。

しかし、このような潮流振幅減少により有明海の海水交換がどのように変化したかは明らかにはされていない。本稿では1990-2000年の有明海全域における毎月の塩分観測データと河川流量データを用いて、有明海における河川水の平均滞留時間の経年変動を明らかにし、それによって、海水交換がどう変化したか、その主な原因は何かを明らかにすることを試みる。

2. 使用データ

解析に用いた塩分データはFig. 1に示す各観測点の海面下0m, 5m, 10m, 20m, 30m, 40mで、福岡県水産海洋技術センター有明海研究所、佐賀県有明水産振興センター、長崎県総合水産試験場、熊本県水産研究センターが毎月観測し、水産総合研究センター西海区水産研究所がとりまとめたものである。1990-2000

* 2002年11月7日受理; 2003年2月20日受理

著作権: 日本海洋学会, 2003

[†] 九州大学応用力学研究所 〒816-8560 春日市春日公園6-1

主著者 e-mail: tyanagi@riam.kyushu-u.ac.jp

[‡] 九州大学総合理工学府大気海洋システム学専攻

〒816-8560 春日市春日公園6-1

— 論文 —

有明海の塩分と河川流量から見た海水交換の経年変動 *

柳 哲雄[†]・阿部 良平[‡]

要 旨

有明海における 1990-2000 年の毎月の塩分観測データと河川流量データをもとに、河川水の平均滞留時間の経年変動を調べた。その結果、有明海における河川水の平均滞留時間は基本的には河川流量の大小に依存していて、河川流量が大きい時短く、河川流量が小さい時長くなるが、同じ河川流量に対しては近年の平均滞留時間が短くなっていて、有明海と外海の海水交換はよくなっていることがわかった。これは有明海の潮流振幅が近年減少し、そのために河口循環流が強化されたためであると考えられる。

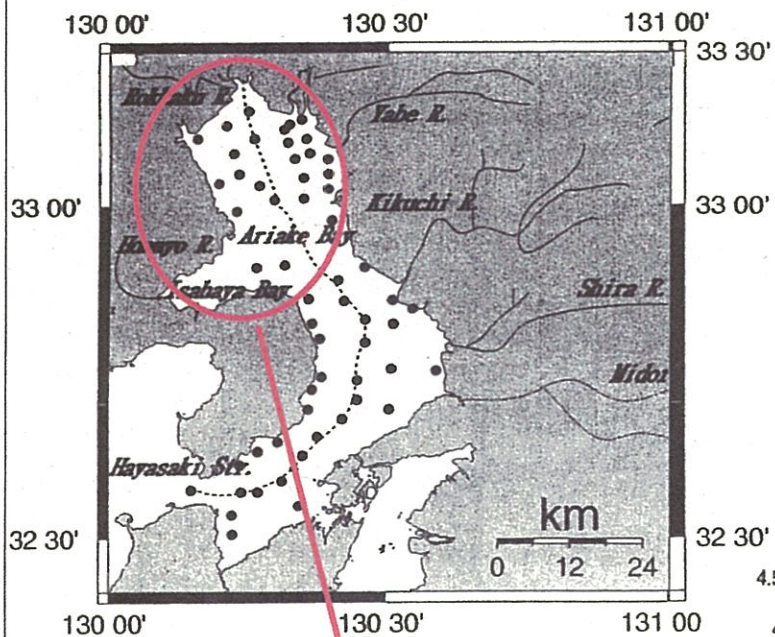
キーワード：有明海，海水交換，平均滞留時間，河口循環流，潮流振幅

1. はじめに

有明海は 1979 年には漁獲高 14 万トン/年を誇った豊

年に M_2 分潮潮汐振幅が 5 cm 減少したこと、塚本・柳 (2002) は、それに伴って湾口部の潮流振幅が約 5% 減少したこと、その主な原因は有明海外の潮汐振幅減少に

沿岸4県の水産研究機関の調査地点 (浅海定点調査)



有明海奥部・諫早湾で
発生している現象

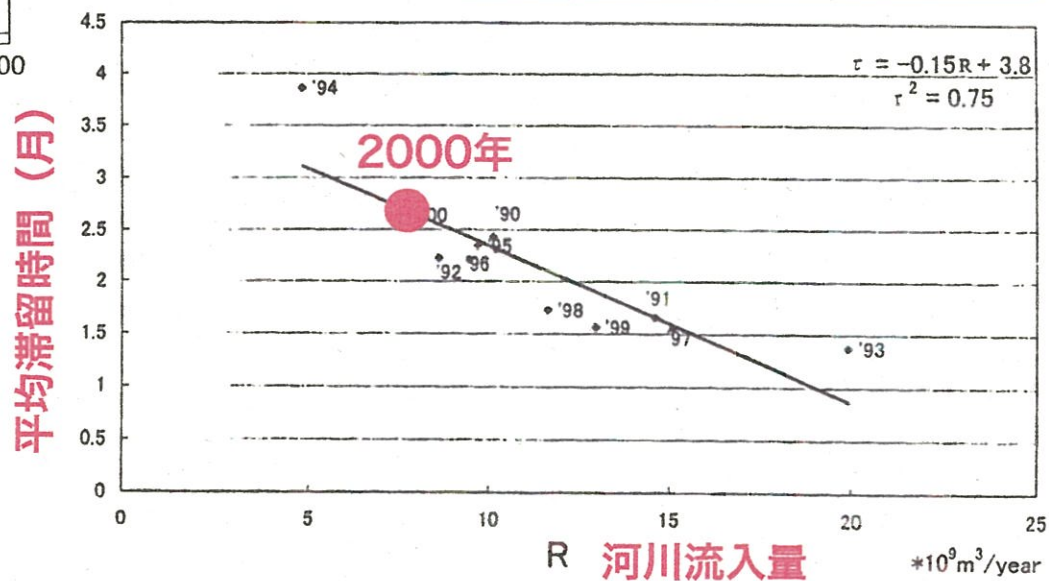
$$F = V \frac{S_o - S_i}{S_o} \quad (1)$$

ここで、 V は有明海の容積 (34 km^3)、 S_o は外洋の代表塩分で、今回は有明海で観測された塩分の毎年の最大値 (Fig. 4 c) とした。 S_i は Fig. 2 (b) に示した有明海の平均塩分である。

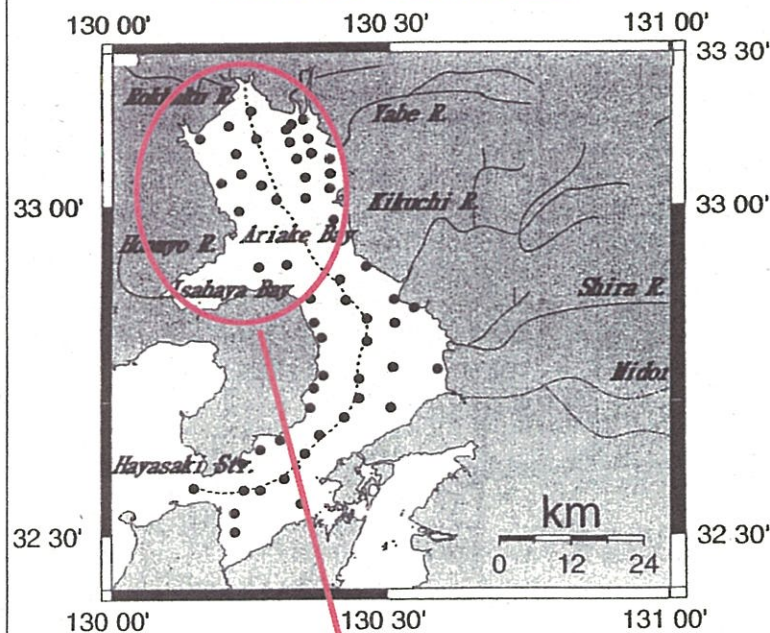
次に河川水存在量を河川流量 R で割って、河川水の平均滞留時間 τ を求めた。

$$\tau = \frac{F}{B} \quad (2)$$

有明海全域の平均値では変化が見られない。

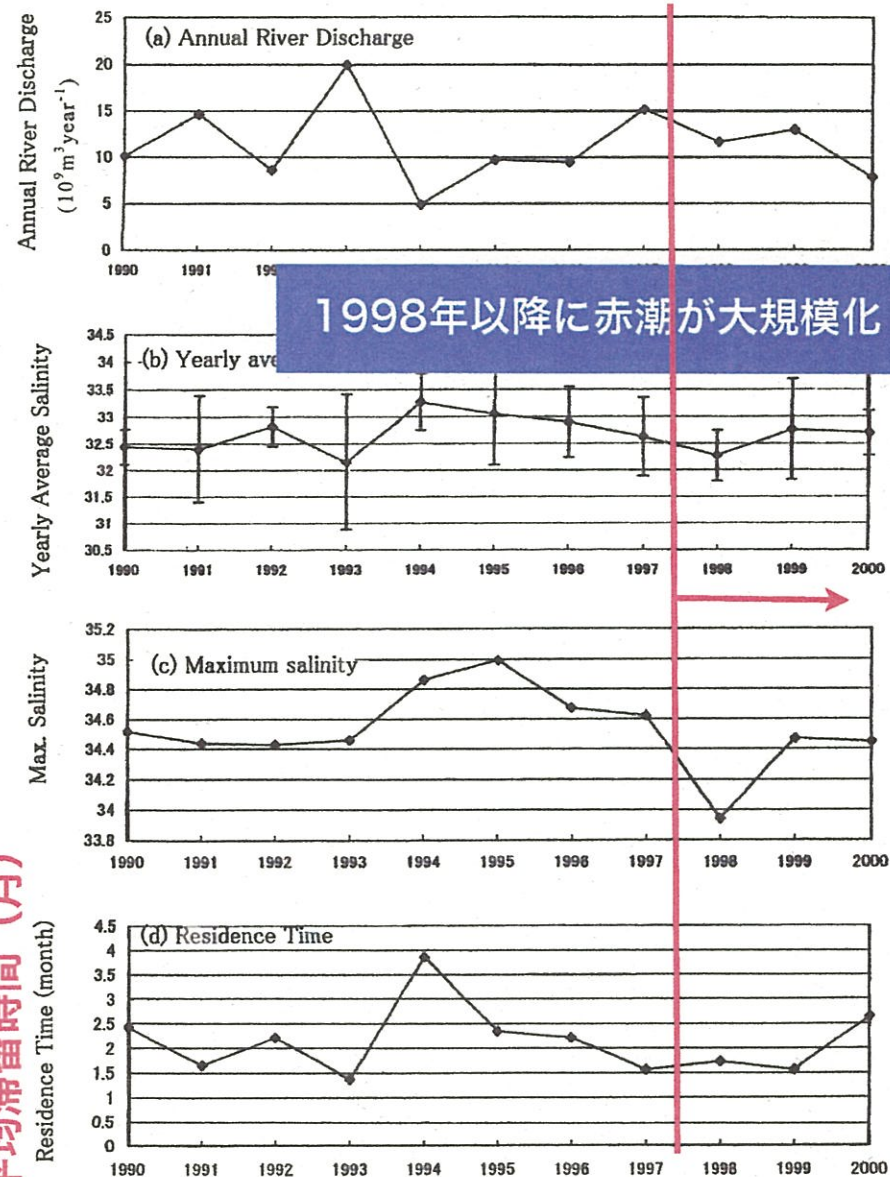


沿岸4県の水産研究機関の調査地点 (沿岸浅海定点調査)



有明海奥部・諫早湾で
発生している現象

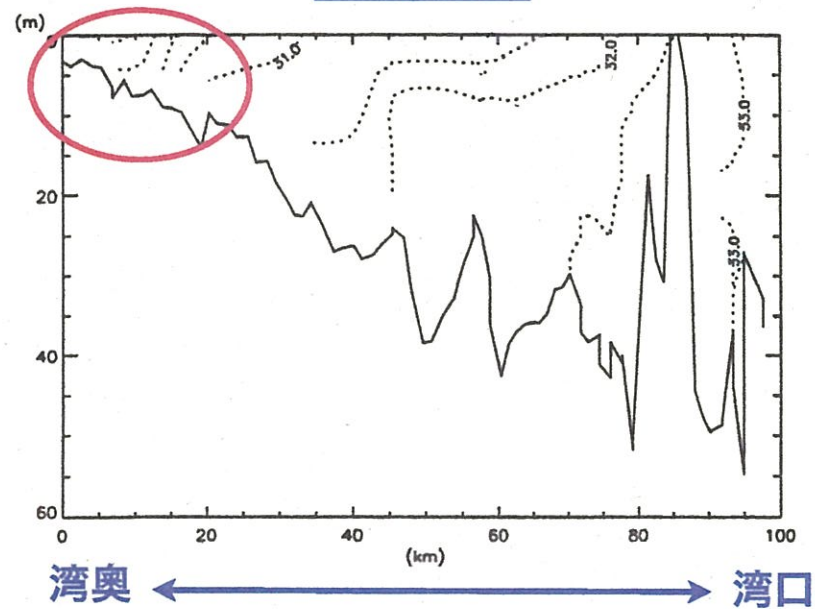
有明海の塩分と河川流量から見た海水交換の経年変動



平均滞留時間 (月)

有明海への河川水流入量がほぼ等しい時の
塩分鉛直プロファイル

1990年



1995年

1998年
以降

