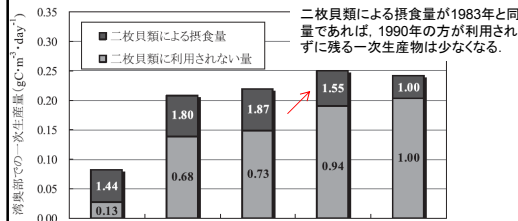


検討結果3(酸素消費速度増大の原因)

有機懸濁物の分解が酸素消費の要因のうち約50%を占める。

有機懸濁物の約95%が一次生産起源



※図内の数値は、各年代の計算結果の2001年比である。

図-10 湾奥全域での一次生産量の変化(8月平均)とそれに占める二枚貝類による摂食量

二枚貝類の減少が一次生産増加をもたらしている。

外海潮位振幅の変化の影響も無視できない。

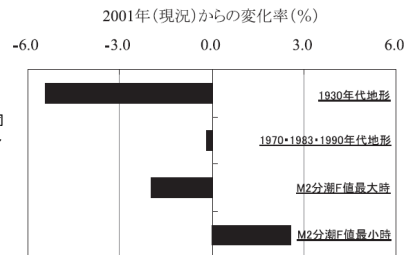


図-11 二枚貝類に利用されない湾奥部一次生産量の変化(8月平均値)

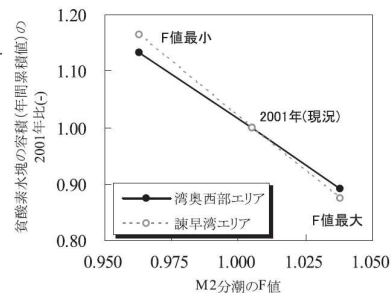


図-12 外海潮位振幅の自然変動と貧酸素水塊の容積の関係

貧酸素水塊の経年変動まとめ

- ・過去30年間で**有明海の貧酸素化は進行した可能性が高い**。2004年以降は一定の経年トレンドはみられない。
- ・夏季の有明海奥部では、**成層強度が強いほど底層の溶存酸素濃度は低く**、淡水供給が多いほど成層は強い。
- ・淡水供給が多い年には、成層が長期間続き、貧酸素の継続時間は長く、貧酸素化も深刻化する。
- ・**二枚貝類の減少は有機懸濁物量を増加**させ、貧酸素を促進し、**地形の変化**は、鉛直混合の強度、一次生産量の変化を通して貧酸素化の促進に影響した可能性がある。
- ・**潮汐振幅**が大きいほど鉛直混合は強くなり、貧酸素化しにくくなる。月昇交点の変化等自然要因による潮汐振幅の変化は有明海奥部・諫早湾の底層DOに影響し得る。



貧酸素化が魚介類・生物に与える 直接影響と間接影響

○直接影響

- 遊泳可能な魚介類の逃避(漁場形成への影響)
- 魚介類の生理的变化(衰弱)
- 魚介類の斃死
- 底生生物の生理・生態的变化, 斃死

○間接影響

- 栄養塩(アンモニア・リン)の溶出
 - 水域の富栄養化を助長
- 硫酸還元・硫化水素の発生
 - 魚介類・底生生物の衰弱・斃死
- 生物の斃死
 - 貧酸素化の助長, 水域の生物多様性・浄化機能喪失

アサリへの影響

長崎県総合水産試験場提供

長崎県諫早湾小長井地先干潟における貧酸素の状況とアサリ被害

年	貧酸素持続時間* (漁場別最長)	被害額(億円)
2004年	44時間(釜)	2.5億円
2007年	72時間(長戸)	3.0億円

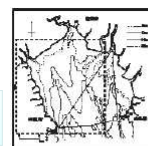
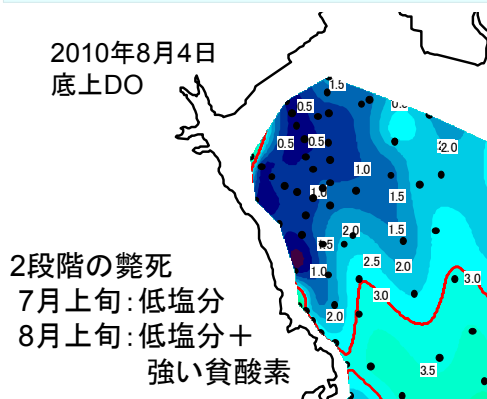
* 酸素飽和度10%以下となった時間

夏季高水温時(30℃超)約14 時間継続した貧酸素でアサリは大量へい死.嫌気代謝継続の限界点近くにあったと推察.⇒大量へい死は, 高水温・貧酸素によるものと示唆された.(硫化水素の影響の可能性も.) 松田(2008)

タイラギへの影響

荒巻・大隈
(2011)

2010年夏季の1歳貝の大量斃死



タイラギ
高密度分布域

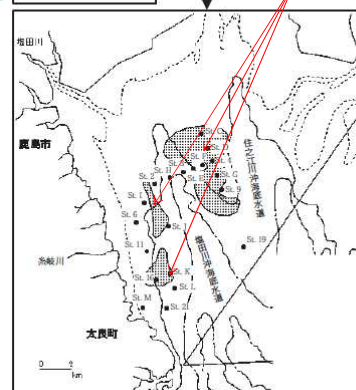


図1 生息状況調査地点
■: 2008年稚群の高密度分布域
●: 調査地点

タイラギ成貝は比較的貧酸素耐性は高い. 10日間無酸素に近い状況が続いたために大量斃死したと考えられる.

34

低酸素水に対するリシケタイラギの反復暴露実験

郡司掛ら(2009)

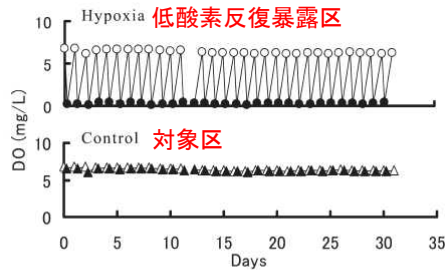


Fig. 1. The level of dissolved oxygen (DO) concentrations in seawater before (○) and after (●) exposure in hypoxia, and before (△) and after (▲) exposure in control.

DOを0.5mg/L以下に下げ、低酸素状態で6h、通気・濾過海水導入により貧酸素解消を31日間繰り返した

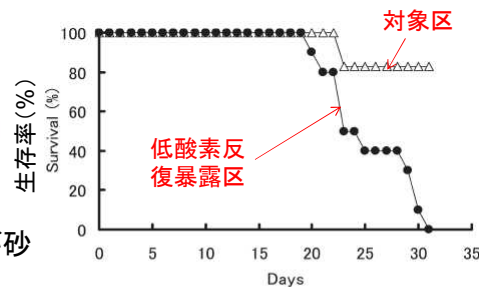


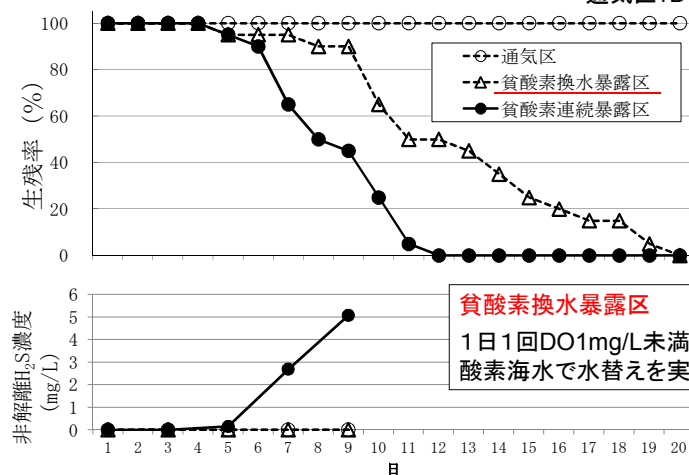
Fig. 3. The percentages of survival in pen shell *Atrina lischkeana*, treated with repeated hypoxia (●), and control (△).

- 暴露日数増加とともにタイラギが砂から露出する程度が大きくなった。
- その後、衰弱した個体増加、最後に斃死に至った。
- 海底直上水のDOの重要性を指摘

サルボウへの貧酸素暴露実験

佐賀県有明水産振興センター提供

通気区: DO5mg/L以上



貧酸素区ではいずれもサルボウの斃死発生
貧酸素連続暴露区では硫化水素が発生、同時に生残率急落

IV. 貧酸素化の軽減のための対策

37

貧酸素化の軽減の目的

1) 魚介類の生息の場の確保

→生理的に斃死が生じない(少ない)こと.
(貧酸素の直接影響以外に貧酸素によって生じる硫化水素の影響を含む.)

2) 魚介類の再生産の場の確保

→幼生期に十分な生残ができること.

3) 漁場の確保

→遊泳可能な生物が逃避せずに漁場が形成されること.

38

生物生息モデルによる再生技術の評価 楠田(2012)編
⇒貧酸素化(底層DO)が評価項目の1つ

No. 再生策	対象海域(設定条件)
1. 囲繞堤1	湾奥部のかつてのアゲマキ漁場
2. 囲繞堤2	湾奥部および諫早湾沿岸全域
3. 覆砂1	5m以浅海域
4. 覆砂2	5m以浅海域(アサリを5倍にした)
5. 海底耕耘1	10m以浅海域(底泥の酸素消費量を3/4)
6. 海底耕耘2	10m以浅海域(底泥の酸素消費量を1/2)
7. なぎさ線の回復1	人工海岸(湾奥部、諫早湾のみ)
8. なぎさ線の回復2	人工海岸
9. 粗朶掘工1	湾奥部沿岸の一部
10. 粗朶掘工2	湾奥部と諫早湾の沿岸全域
11. カキ礁の復元1	1977年のカキ礁
12. カキ礁の復元2	1977年のカキ礁(現存量を5倍)
13. ノリ養殖1	現況のノリ養殖場(ノリ養殖を1/2)
14. ノリ養殖2	現況のノリ養殖場(ノリ養殖を0)

39

各種施策の施工箇所

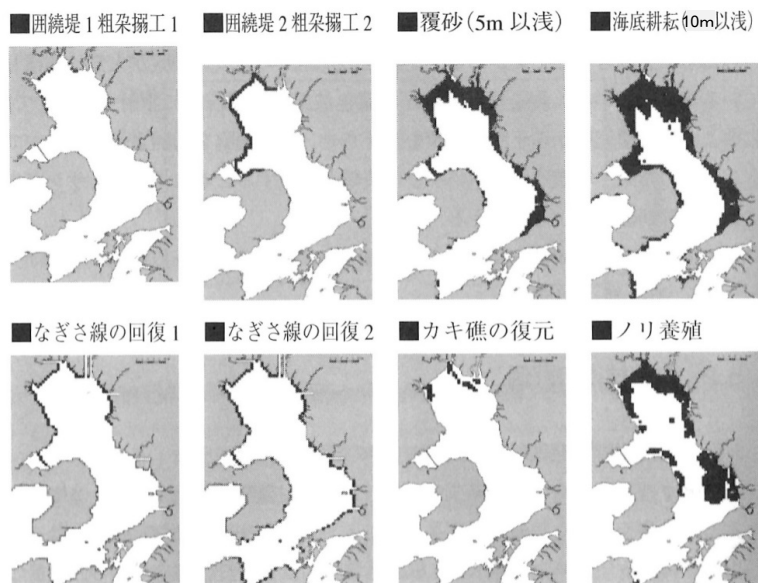


図 5.98 再生策などの施工箇所

楠田(編) 2012⁴⁰より

モデルによる検討結果

貧酸素水塊の年間累積値
($\text{km}^3/\text{日}$)

一次生産量の年平均値
($\text{g}/\text{km}^3/\text{日}$)

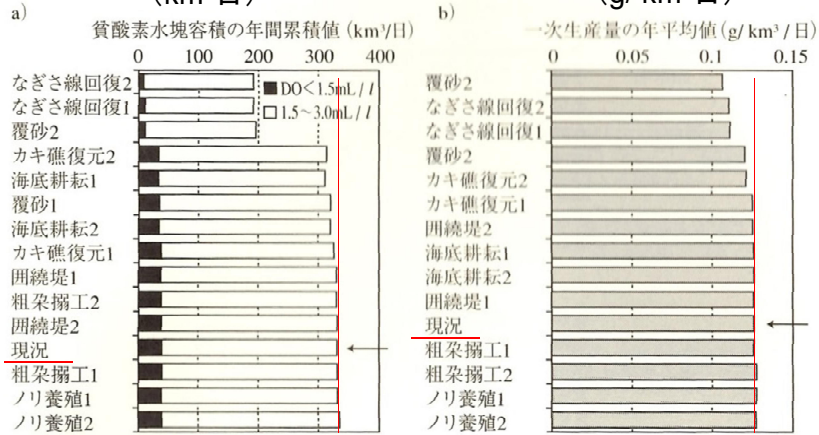


図 5.101 各再生策による a) 貧酸素水塊容積の年間累積値および
b) 湾奥部の年間平均一次生産量の予測結果

なぎさ線の回復の効果が大きい。なぎさ線の回復(人工海岸の陸側に1格子増やし、増やした格子の底質には覆砂が施される。底生動物は全面格子と同じ現存量を初期値とする。)

潮汐振幅の経年変化

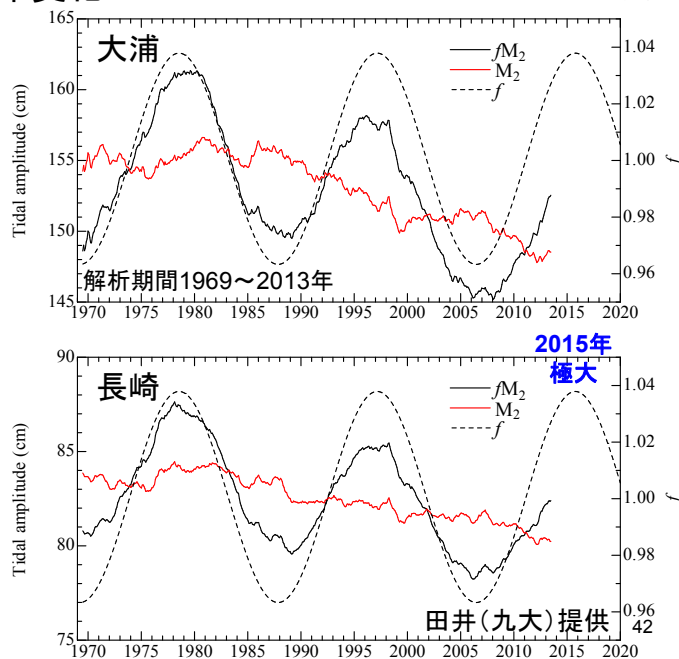
田井ほか(2010)に追加・改変

(M_2 潮)

f (月の昇交
点変動による18.6年周
期変動)

fM_2 (f を含
めた潮汐振
幅変化)

M_2 (f を除い
た潮汐振幅
変化)



貧酸素化の軽減のための対策のまとめ

・覆砂・海底耕耘・微細気泡装置による底質改善*等の対症療法的対策が実施あるいは現地試験されている。

⇒問題点 **効果の継続性**

*藤田ほか(2007)

・数値シミュレーションによる効果の確認

: **なぎさ線の回復**

⇒実施可能な規模は？

(モデルでは湾奥・諫早湾だけで50km²)

: **カキ礁の増加**

⇒単独では効果不十分

・その他の可能性

**小松ほか(1997)

流況制御ブロック**等の構造物による流れの制御

干潟の成長促進—海域側へのなぎさ線の回復, 堆積による有機物除去, 潮流強化による鉛直混合促進 等

・考慮すべき事項: 外海の潮汐振幅—**月昇交点変動**により増大中→貧酸素抑制. ただし前回極大より振幅小さい.⁴³

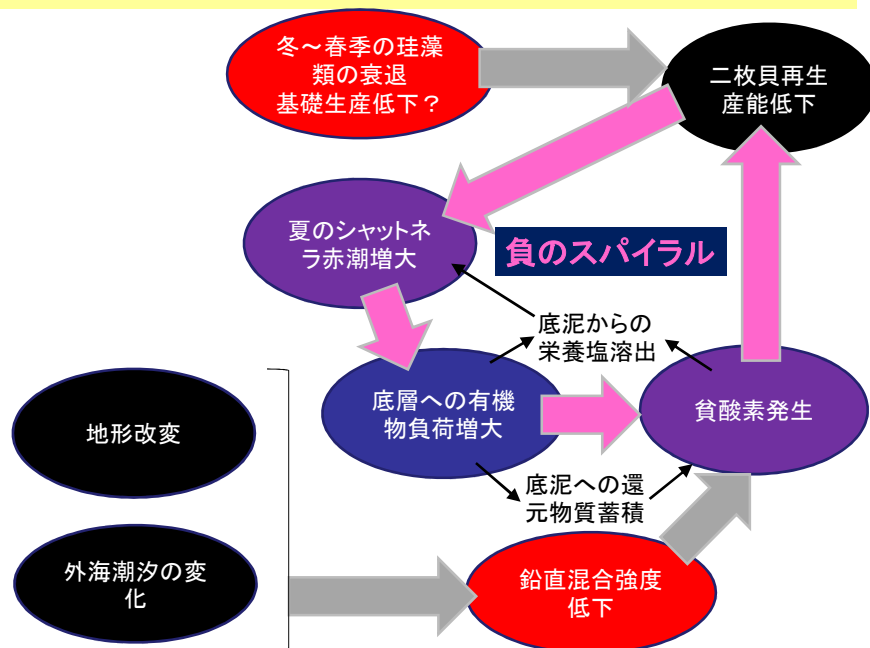
V. まとめ

重点海域(有明海奥部・諫早湾)における貧酸素水塊のまとめ

- ・現状では、夏季に成層が強まるとほぼ必ず貧酸素化。
- ・酸素消費速度が大きい(東京湾に匹敵)ことがその要因。
- ・貧酸素化することにより二枚貝を中心にしたベントスが減少し、植物プランクトンの捕食圧が低くなることで、海域底層への有機物負荷が増大、貧酸素化をさらに促進。
- ・貧酸素水塊の年々の変動には降水量(河川流量)の影響が大きい。ただし、トレンドとしては過去の地形改変、外海潮汐の減少、有機懸濁物量の増加が貧酸素化を進行させた可能性がある。
- ・根本的対策: 人間が手を加えることで、貧酸素の緩和⇒二枚貝類増加⇒有機懸濁物量減少⇒貧酸素のさらなる緩和 というサイクルへ。

45

有明海奥部・諫早湾における貧酸素化の現状(仮説)



46

今後の課題2

【今後検討が求められるもの】

○二枚貝幼生, 稚貝, 仔稚魚期の貧酸素耐性の解明
⇒貧酸素が生活史全般や資源動態に及ぼす影響の解明へ

○貧酸素が漁場形成に与える影響の解明

○貧酸素が物質循環や生態系構造に及ぼす影響の定量化

○貧酸素抑制のための根本的対策の検討

49

文献1

城久(1989):大阪湾の貧酸素水塊. 沿岸海洋研究ノート, 26, 87-98.

鬼塚正光(1989):東京湾の貧酸素水塊. 沿岸海洋研究ノート, 26, 99-100.

Fujiwara, T. et al.(2002):The role of circulation in the development of hypoxia in Ise Bay, Japan. ECSS, 54, 19-31.

Rabalais, N. N. et al.(2010):Dynamics and distribution of natural and hyman-caused hypoxia. Biogeosciences, 7, 585-619.

柳哲雄(2004):貧酸素水塊の生成・維持・変動・消滅機構と化学・生物的影響. 海の研究, 13, 451-460.

徳永貴久ほか(2009):有明海湾奥西部海域における貧酸素水塊の形成特性. 土木学会論文集B2(海岸工学), 65, 1011-1015.

久野正博(1996):伊勢湾における海況の季節変化. 三重水技研報, 6, 27-46.

村上哲生ほか(2001):夏季の長良川河口堰下流部の貧酸素水塊の発達と解消. 応用生態工学, 4, 73-80.

森脇晋平・大北晋也(2003)中海に出現する貧酸素水塊の海況学的特性と海洋構造. LAGUNA(汽水域研究)10, 27-34.

Diaz, R. J. and R. Rosenberg(2008):Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. Science, 321, 926-929.

50

文献2

- 小林良則(1993):東京湾における低酸素水域の分布と小型底びき網の漁獲量の関係. 神奈川水試研報, 14, 27-39.
- 鈴木輝明(1998):貧酸素化. in 平野敏行(編)「沿岸の環境圏」. pp.475-479.
- 柳哲雄(1998):シンポジウム「貧酸素水塊」のまとめ. 沿岸海洋研究ノート, 26, 141-145.
- Diaz, R. J. (2001): Overview of hypoxia around the world. Journal of Environmental Quality, 30, 275-281.
- 村上哲生ほか(2001):有明海奥部における底層の溶存酸素濃度(速報). http://www.nacsj.or.jp/old_database/isahaya/isahaya-010817-hokoku.html.
- 木元克則ほか(2003):有明海における溶存酸素分布. 月刊海洋, 394, 261-265.
- 堤裕昭ほか(2007):有明海奥部における夏季の貧酸素水発生域の拡大とそのメカニズム. 海の研究, 16:183-202.
- 徳永ほか(2012):有明海湾奥西部海域の底質変動特性. 土木学会論文集B2(海洋開発), 68, 1139-1144.
- 吉田賢二(2004):有明海佐賀県海域に流入する主要河川感潮域における水質環境の長期変動. 佐賀県有明水産振興センター研報, 22, 81-89.
- 丸茂恵右・横田瑞郎(2012):貧酸素水塊の形成および貧酸素の生物影響に関する文献調査. 海生研研報, 15, 1-21.
- 滝川清ほか(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, 50, 1001-1005.

文献3

- 石谷哲寛ほか(2007):有明海奥部西岸域における貧酸素水塊の発生と密度成層. 農業土木学会論文集, 247, 65-72.
- 速水祐一ほか(2006):夏季の有明海奥部における懸濁物質輸送とその水質への影響. 海岸工学論文集, 53, 956-960.
- 速水祐一(2007):有明海奥部の貧酸素水塊. 海洋と生物, 173, 577-583.
- 永尾謙太郎ほか(2010):有明海の長期的な環境変化に伴う貧酸素水塊の発生状況に関する数値実験. 土木学会論文集B2(海岸工学), 66(1), 1136-1140.
- 楠田哲也編(2012)蘇る有明海—再生への道程. 361pp. 厚生社厚生閣.
- 小松利光ほか(1997):方向性を持つ底面粗度を用いた潮汐残差流の創造と制御. 水工学論文集, 41, 323-328.
- 田井明ほか(2010):有明海および八代海における半日周期潮汐の長期変化について. 水工学論文集, 54, 1537-1542.
- 藤田孝康ほか(2007):有明海奥部サルボウガイ漁場における曳航式微細気泡装置による底質改善実験. 水産工学, 44, 101-111.
- 松田正彦(2008):アサリ養殖漁場における夏季大量斃死要因の検討. 長崎大学博士論文
- 荒巻裕・大隈斉(2011):有明海佐賀県海域で2010年夏季に発生したタイラギ1歳貝の大量斃死について. 佐有水研報, 25, 1-7.
- 郡司掛博昭ほか(2009):低酸素海水に反復暴露したリシケタイラギ(*Atrina lischkeana*)の浮上行動とへい死. 九大農芸誌, 64, 19-22.

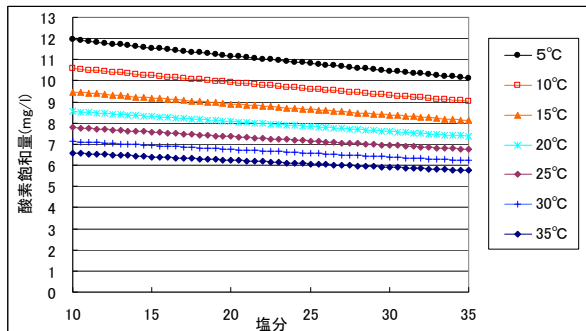
参考資料1)

海域における貧酸素水塊の整理

飽和度で見た場合

<50～60% 城(1989) 大阪湾
 <40% 鬼塚(1989) 東京湾
 <30% Fujiwara et al(2002) 伊勢湾
 Rabalais et al(2010)
 <25% 柳(2004) 左記または40～50%以下と記述

溶存酸素濃度と酸素飽和度の関係



塩分30, 水温25°Cで

飽和度

50% = 3.47mg/L
 40% = 2.78mg/L
 30% = 2.08mg/L
 25% = 1.74mg/L

53

参考資料2)

各年代の計算条件

外海潮位振幅
(月昇交点変動)

平均水位

流入負荷量
(筑後川順流域)

二枚貝生息量

表-1 外海潮位振幅の2001年(現況)に対する比率

分潮	1930年代	1977年	1983年	1990年
M2分潮	1.000	1.030	0.992	0.972
K1分潮	1.000	0.892	1.023	1.079
O1分潮	1.000	0.823	1.038	1.128

表-2 平均水位の2001年(現況)に対する差

分潮	1930年代	1977年	1983年	1990年
平均水位	0.0	-8.2cm	-8.9cm	-5.9cm

表-3 筑後川順流域の流入負荷量の2001年(現況)に対する比率

	1930年代	1977年	1983年	1990年
COD	0.63	1.30	1.30	1.35
T-N	0.46	1.53	1.65	1.66
T-P	0.49	1.30	1.54	1.52

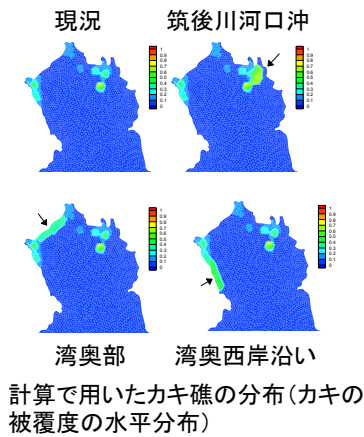
表-5 二枚貝類の生息量の2001年(現況)に対する比率

	1930年代	1977年	1983年	1990年
アサリ+タイラギ	8.9 [※]	14.8	15.7	1.5
サルボウ+アゲマキ	2.5	0.7	0.7	2.5
カキ	8.3	8.3	4.1	1.5 ⁴

※1930年代はアサリ+タイラギのみ1950年代の漁獲量×漁獲率10倍で推定した値を設定

参考資料3)

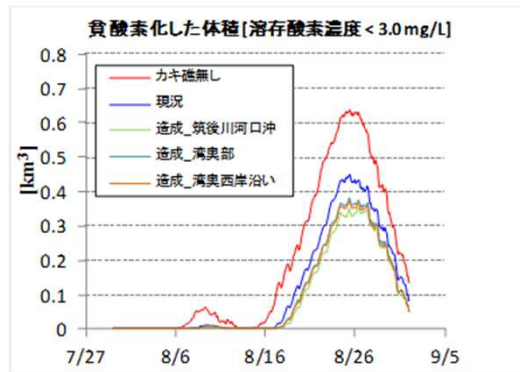
カキ礁による貧酸素抑制効果(数値シミュレーション)



カキ礁を増やした3ケースでは、現況のバイオマスの2倍になるように設定。

2007年の気象条件で計算実施。

カキ礁はごく浅海域に分布するため貧酸素水塊が発生しても影響を受けにくい。



カキ礁は貧酸素化を抑制する効果を持つ。
ただし、カキ礁の造成だけでは、カキを現状の2倍にしても現在の貧酸素水塊を抑制するには効果不十分。

平成24年度有明海生態系回復方策検討調査
(二枚貝類の環境浄化機能検討調査)報告書⁵⁵