

(再評価)

資料 2 - 2 - ③
関東地方整備局
事業評価監視委員会
(平成22年度第3回)

利根川総合水系環境整備事業 (霞ヶ浦環境整備)

平成22年9月24日
国土交通省 関東地方整備局

利根川総合水系環境整備事業 (霞ヶ浦環境整備)

再評価資料

目次

1. 第2回事業評価監視委員会指摘事項	1
2. 浚渫事業の概要	2
3. 霞ヶ浦流域の状況	3
4. 汚濁要因	4
4-1. 汚濁要因のメカニズム	5
4-2. 水質シミュレーションモデルの概要	6
4-3. 水質シミュレーション結果 (浚渫による水質改善効果)	7
4-4. 水質シミュレーション結果 (浚渫完了後における湖内の栄養塩類の変化)	8
5. シミュレーション結果と実績値との乖離の主な要因	9
5-1. 近年の実績を用いた水質シミュレーション結果	10
5-2. 霞ヶ浦の水質に影響を与えるその他の要因	11
6. 霞ヶ浦環境整備(水環境)アンケートの改善	12
7. 受益範囲の設定	13
(参考)	14

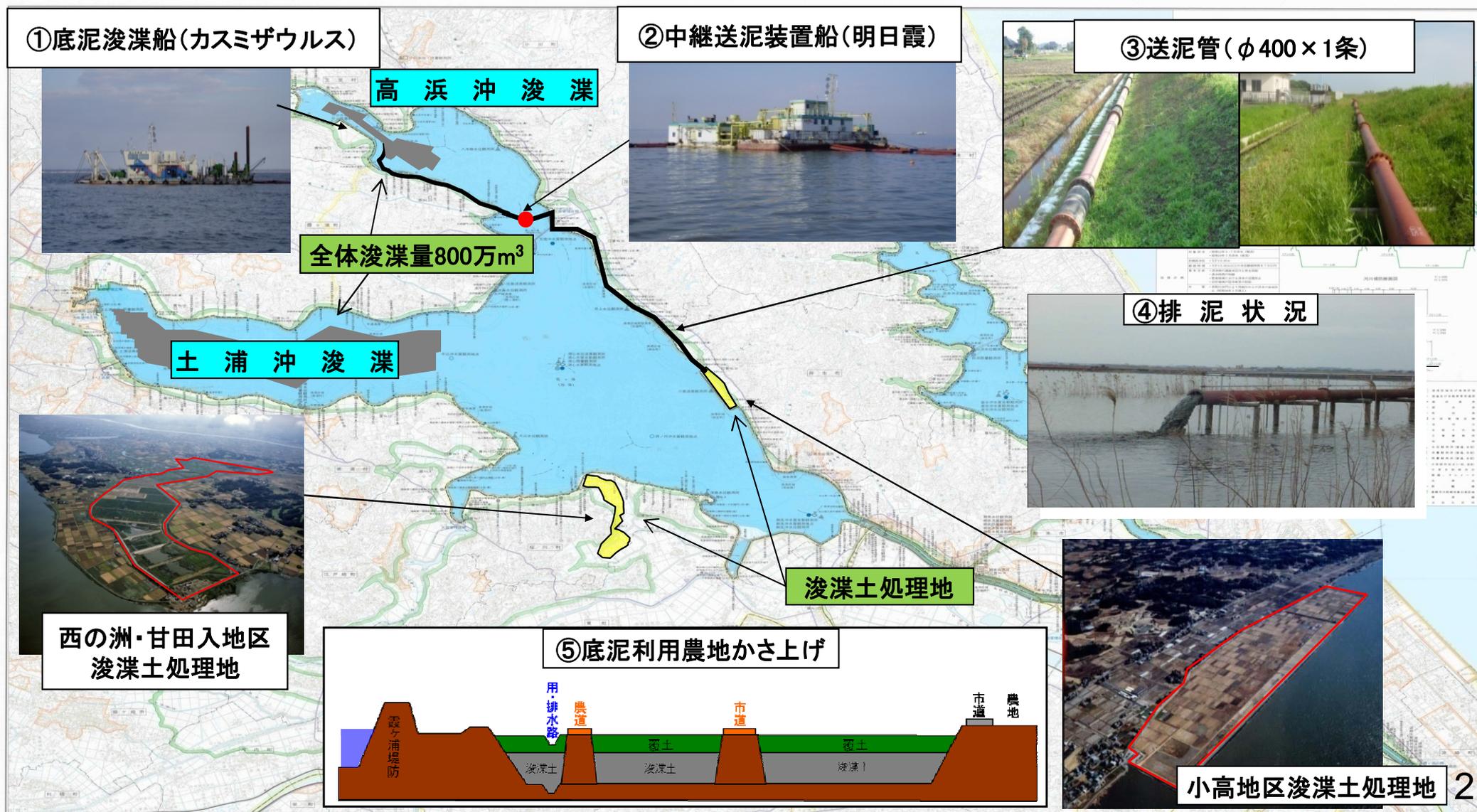
1. 第2回事業評価監視委員会指摘事項

大項目	指摘事項	説明資料
湖内水質メカニズム・水質シミュレーション	湖内の水質汚濁メカニズムについて説明すること。	P4,5
浚渫効果と湖内水質との関係	①浚渫効果(COD0.3mg/l低減)は、どういうシミュレーションにより、算定したのか根拠を示すこと。 ②底泥浚渫の効果として、湖内の栄養塩(T-N,T-P)の変化を整理すること。 ③浚渫効果と湖内の水質(COD)が改善されないこととの関係を、科学的に説明すること。 ④西浦と北浦を分けて現状比較を整理すること。	P6,7 P8 P9,10,11 P21,22,23
アンケート手法	①水質改善が目的であるにもかかわらず、水質改善効果が現れていないものについて、CVMで計るという方法自体どうなのか。 ②0.3mg/lの水質改善効果に対し、いくら払うか聞いているのに、実際には効果がないとなると、支払意志額に違いが出てくるのでは。 ③受益範囲40キロの妥当性について。	P12 P12 P13

2. 浚渫事業の概要

平成22年3月末時点

工種	進捗状況	
浚渫工事	全体浚渫量800万 m^3 (内751.9万 m^3 完、94%)	残48.1万 m^3 、6%
全体工事	81%完	残19%



3. 霞ヶ浦流域の状況

●霞ヶ浦の水質は、流域内の人口増加、産業の発展などにより、流入する汚濁物質や富栄養化の原因となる栄養塩が増えて急激に悪化。

- 湖沼水質保全特別措置法に基づき昭和60年に霞ヶ浦が湖沼指定。
- 茨城県・栃木県・千葉県は「湖沼水質保全計画」を浚渫事業も取り込み昭和62年に策定。以降5年毎に計画を見直し、5期25年間にわたり水質浄化対策等を講じてきた。
- 第5期湖沼水質保全計画では、平成22年度末で霞ヶ浦平均COD 7.0mg/lを目標としていたが、平成21年度末で9.5mg/lとなっている。



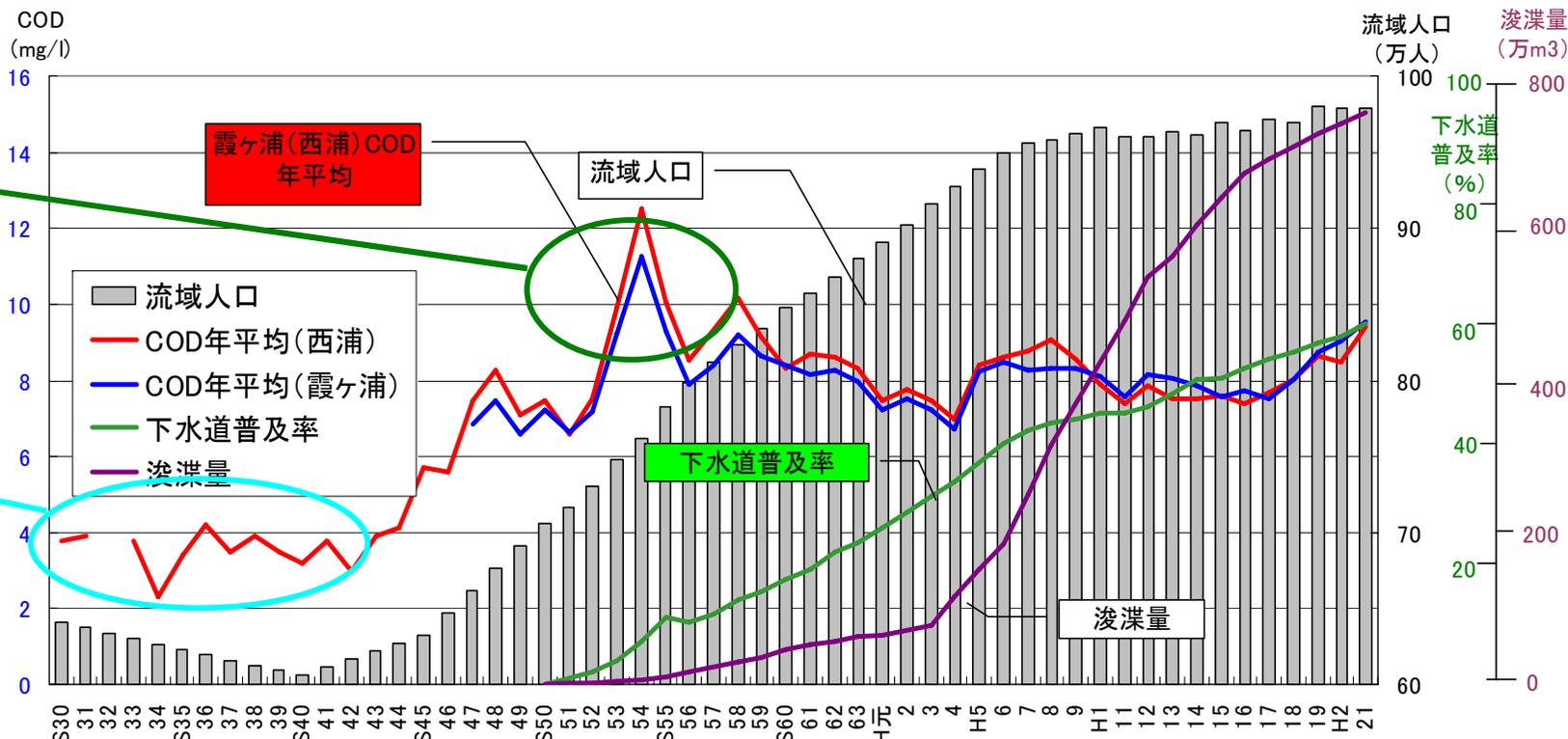
図 水質観測地点



■アオコ状況

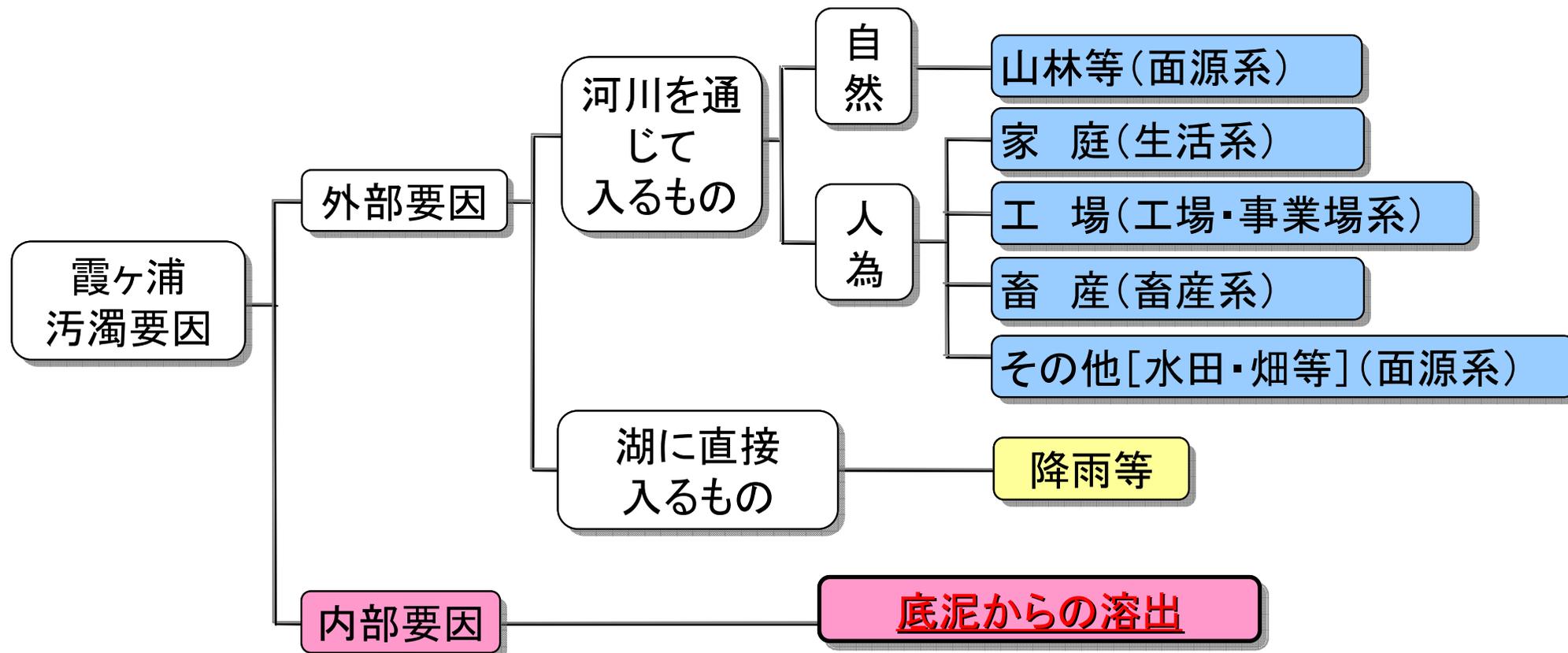


■湖水浴風景(昭和40年頃)



4. 汚濁要因

- 水質汚濁要因は、外部要因と内部要因に区分される。
- 浚渫事業は、内部要因(底泥からの溶出)の削減を行う事業。



底泥(遠景)



底泥(近景)



底泥巻き上げ状況

4-2. 水質シミュレーションモデルの概要

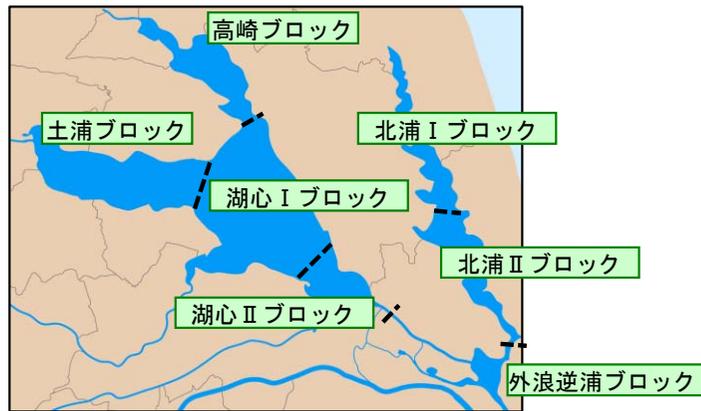
●シミュレーションモデルは、「湖水モデル」と「底泥モデル」から構成。

＜湖水モデル＞

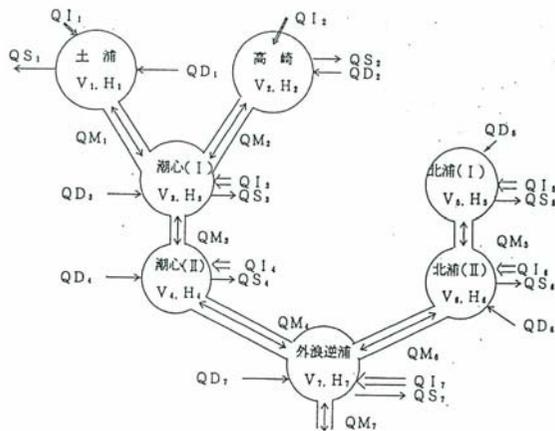
- 植物プランクトンの増殖・死滅・沈降といった内部生産と物質循環をモデル化し、COD・TP・TNの湖内負荷量（濃度）を算定。
- 入力条件としては、流域からの湖内に供給される栄養塩負荷量、気象条件として気温・日射量・湿度・雲量、水量の条件として、流入河川水量・取水量・降水量・蒸発量を考慮。

＜底泥モデル＞

- 底泥から湖水への拡散・溶出、底泥内部での無機化分解・脱窒・脱吸着・上下層へ移流・拡散、湖水から底泥への沈降をモデル化し、底泥と湖水の物質収支を算定。



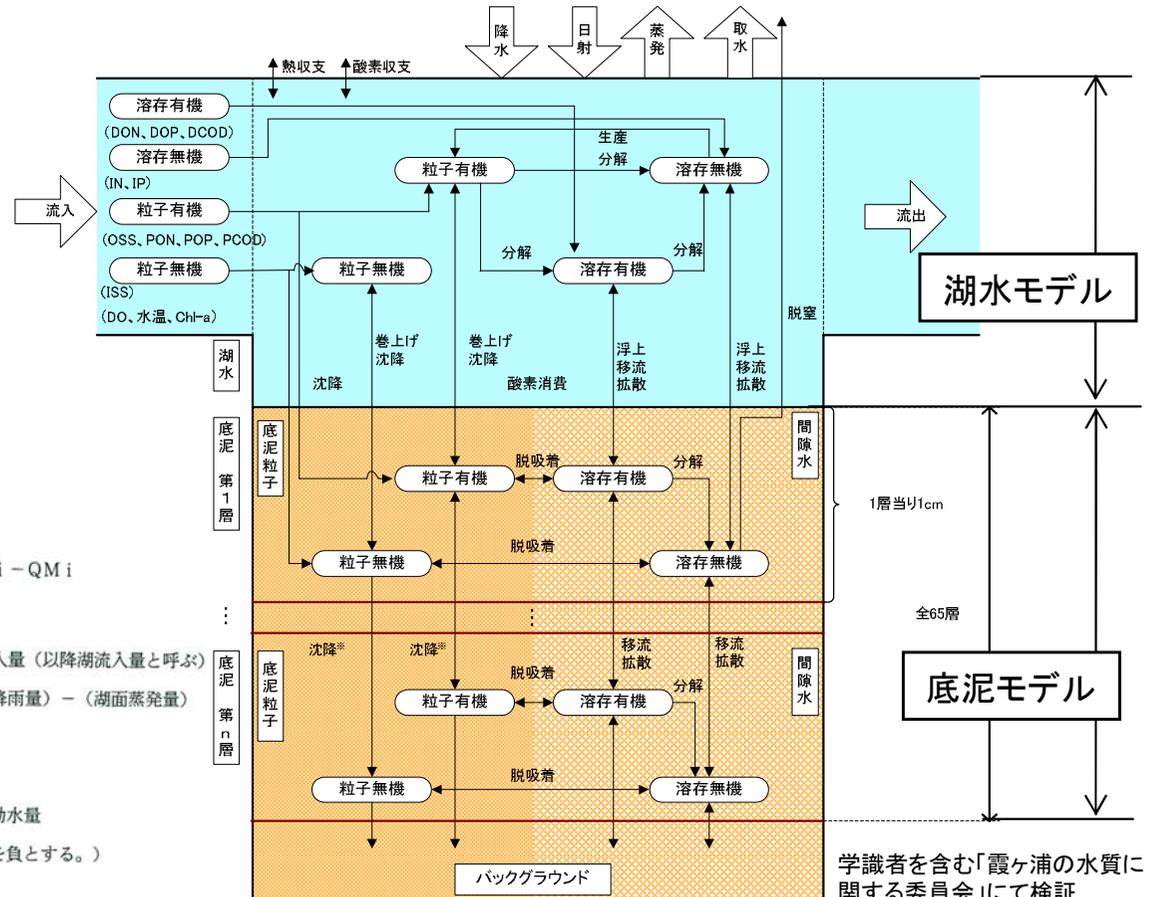
霞ヶ浦の水質予測モデルのブロック分割



水収支模式図

$$\frac{dV_i}{dt} = QI_i + QD_i - QS_i - QM_i$$

ここに、 V_i : i 水域の容量
 QI_i : i 水域への系外からの総流入量（以降湖流入量と呼ぶ）
 =（河川流入量）+（湖面降雨量）-（湖面蒸発量）
 QD_i : i 水域への導水量
 QS_i : i 水域からの取水量
 QM_i : i 水域から下流水域への移動水量
 （流出の時を正、流入の時を負とする。）



※底泥表面を基準面としていることによる見かけ上の移動を表している。

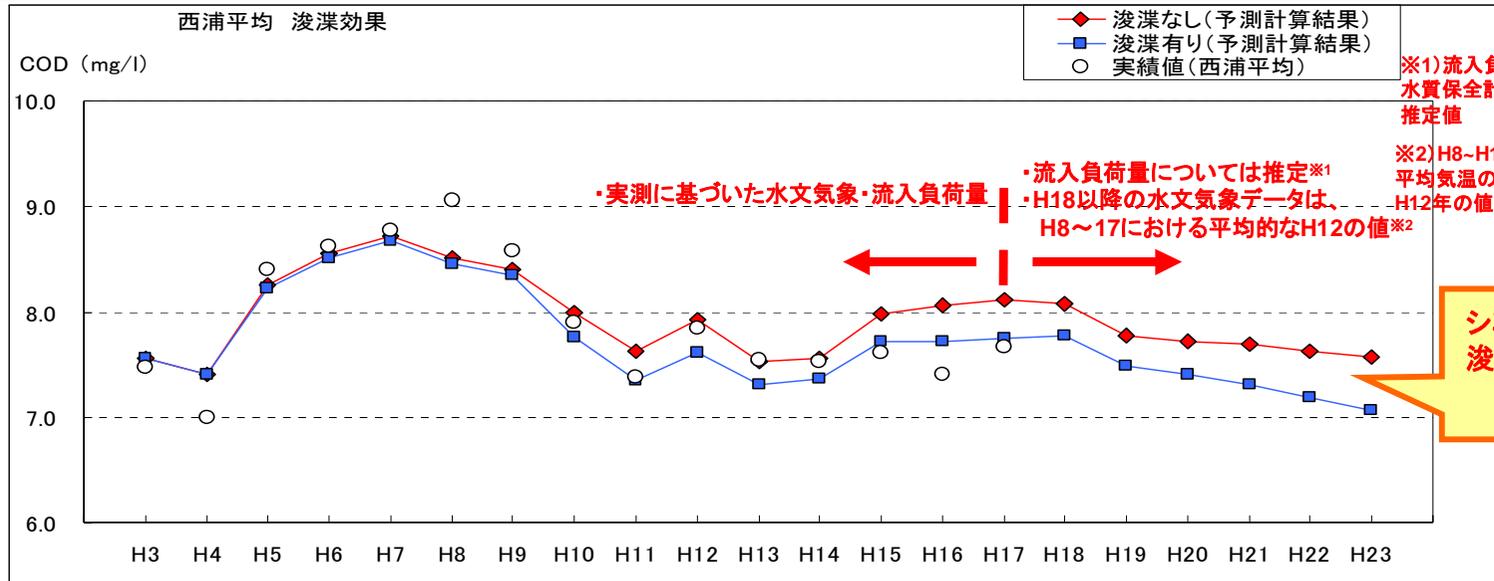
モデル物質収支概念図

学識者を含む「霞ヶ浦の水質に関する委員会」にて検証

4-3. 水質シミュレーション結果(浚渫による水質改善効果)

- 平成17年時点において、平成23年までの浚渫による水質改善効果を予測した結果、西浦平均で0.5mg/l、霞ヶ浦平均で0.3mg/lの効果を確認。
- 計画浚渫量800万m³が完了し、第5期湖沼水質保全計画に基づき流入負荷量が削減されることを前提にした予測値。

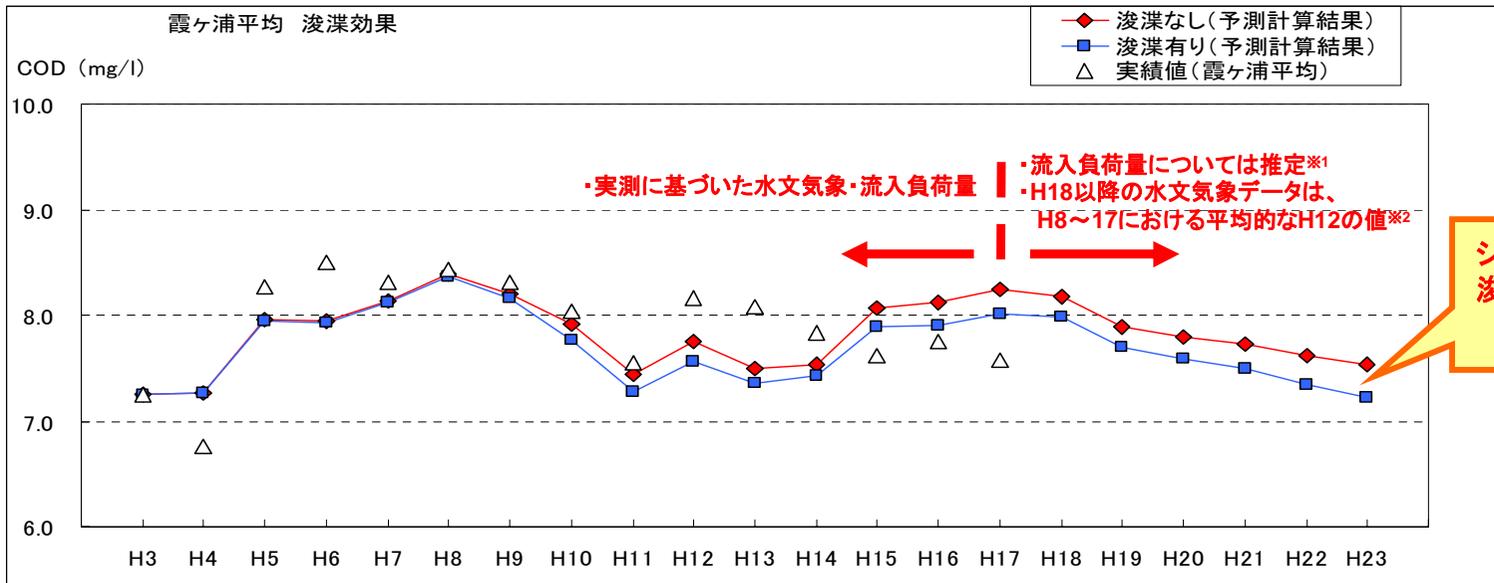
西浦平均



シミュレーションによる浚渫効果
0.5mg/l

※1) 流入負荷量は「霞ヶ浦に係る湖沼水質保全計画(第5期)」に基づいた推定値
 ※2) H8-H17の期間における支川流入量、平均気温の観点から見て、最も平均的であるH12年の値

霞ヶ浦平均

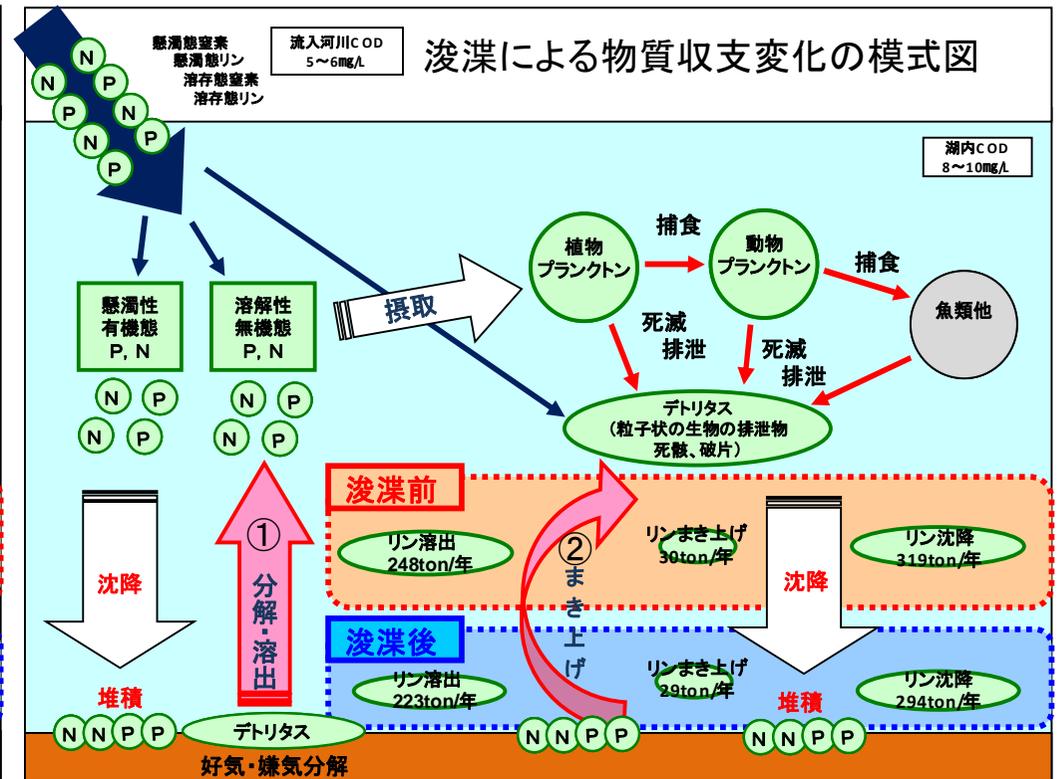
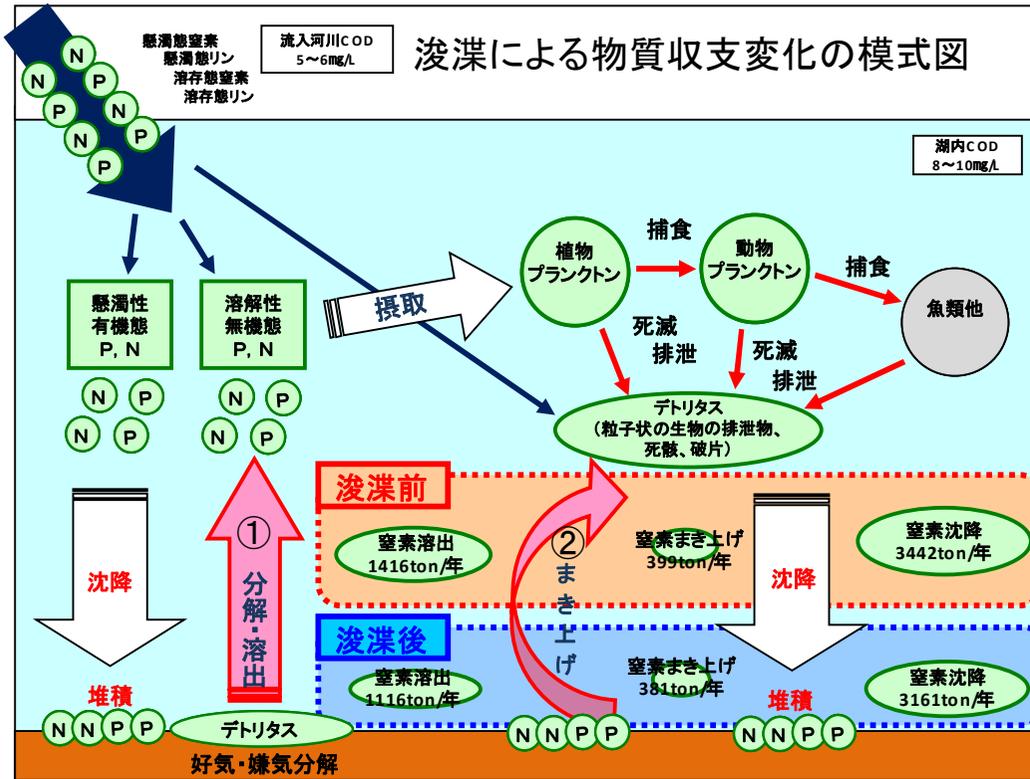


シミュレーションによる浚渫効果
0.3mg/l

予測値と実績値が合わないものは、藻類の細胞の数や種の一時的な変化等にモデルが追従できないものと思われる。

4-4. 水質シミュレーション結果(浚渫完了後における湖内の栄養塩類の変化)

- 浚渫により栄養塩類の溶出、巻上げを低減。
- それらによって内部生産を抑制したため沈降も低減。



浚渫効果T-N=溶出300ton+まき上げ18ton+沈降281ton=599(ton/年)

浚渫効果T-P=溶出25ton+まき上げ1ton+沈降25ton=51(ton/年)

※計画浚渫量(800万m³)を完了した場合の物質収支。

5. シミュレーション結果と実績値との乖離の主要要因

●シミュレーション結果と実績値との乖離の主要要因は、栄養塩類と水温上昇。

(1) 栄養塩類の影響

湖内では、流入負荷や溶出負荷などの栄養塩類をもとに、植物プランクトンが増殖する内部生産が行われる。全ての植物プランクトンは、クロロフィルa(葉緑素)を含んでおり、プランクトンが増加するとクロロフィルaも増加。また、霞ヶ浦におけるクロロフィルaとCODは相関関係にあり、クロロフィルaが増加するとCODも増加。

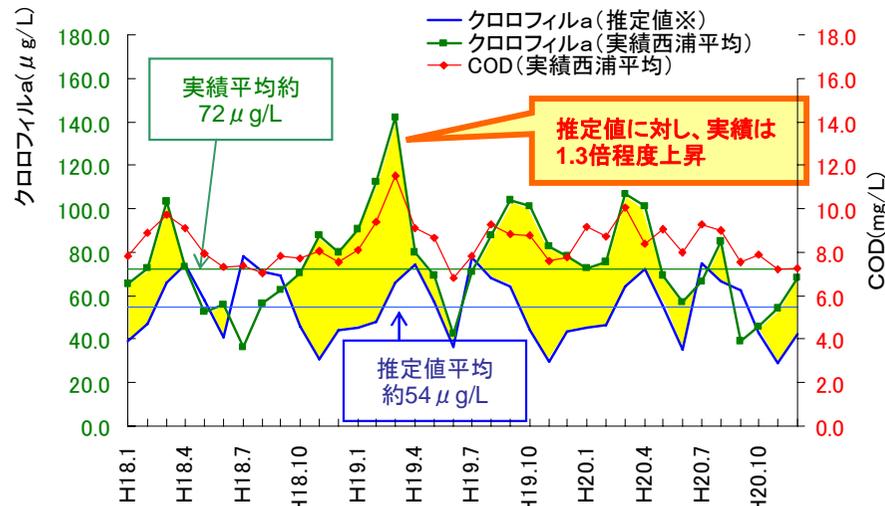


図 推定クロロフィルaと実績クロロフィルa ※H8-H17における平均的なH12の値をもとに算定した値

(2) 水温上昇による影響

近年、湖心の1月～3月までの平均気温は、推定気温に対し約1.5℃程度上昇。約1.5℃上昇することで、光合成による酸素発生速度は、約1.3倍増加。そのことにより、植物プランクトンにおける内部生産が活発化し、CODが増加。

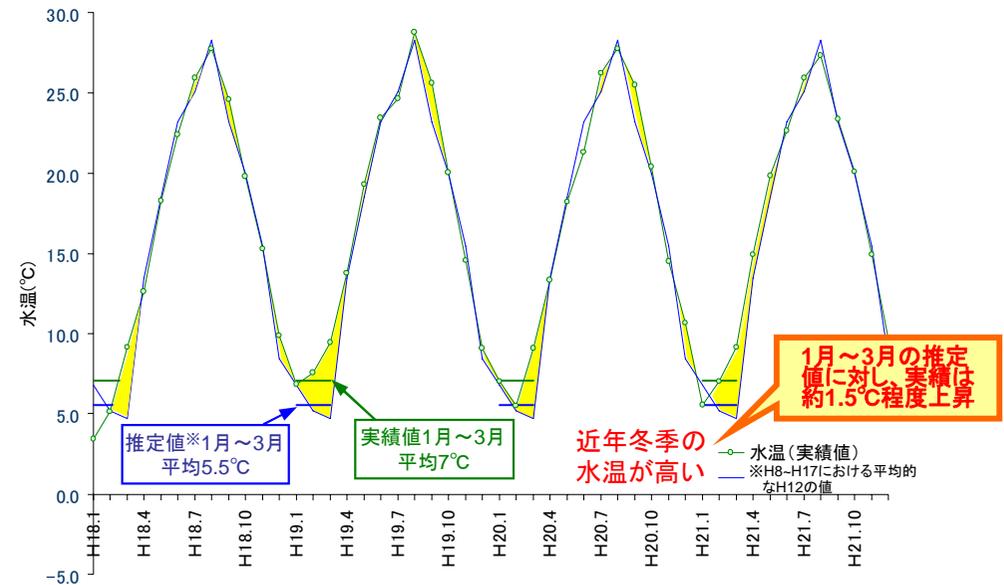
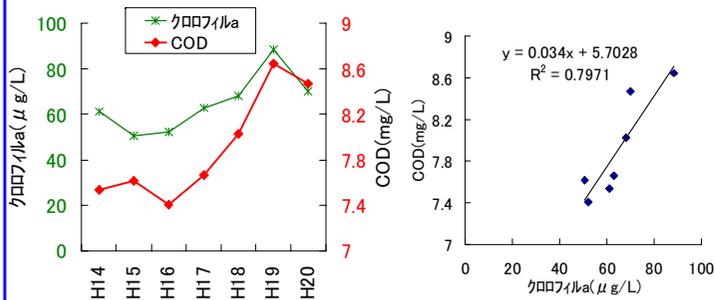


図 推定値水温と実績水温の関係



クロロフィルaとCODの経年変化 (西浦平均)

クロロフィルaとCODの相関図 (西浦平均)

H17年: クロロフィルa 62.9 μg/L
→ COD 7.7mg/L
H20年: クロロフィルa 70.1 μg/L
→ COD 8.5mg/L
クロロフィルa上昇量は7.2 μg/L
→ COD上昇量は0.8mg/L

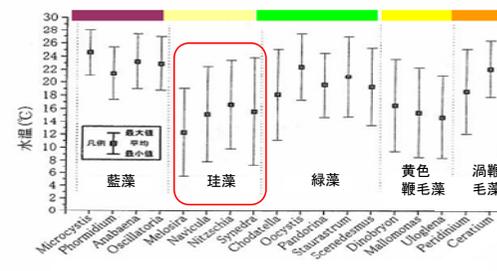


図 水温と藻類の優占種について

多目的ダム貯水池の水質と流入河川・貯水池特性との関連について、ダム工学、10(2)、2000、より引用

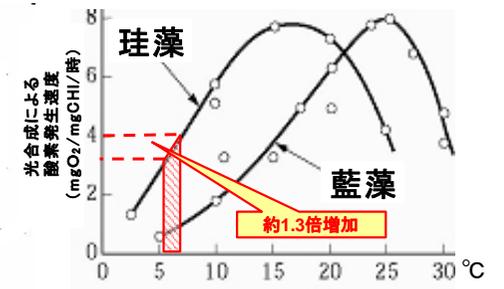


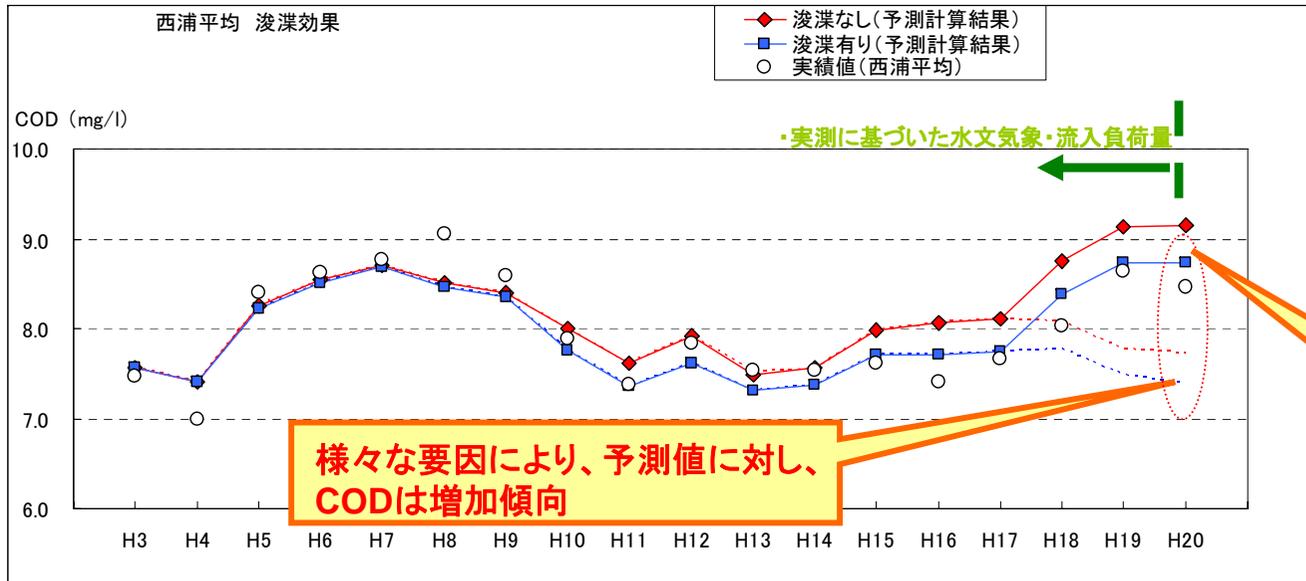
図 酸素発生速度と水温の関係

参考文献: 「生態学講座8 水界植物群落の物質生産II

5-1. 近年の実績を用いた水質シミュレーション結果

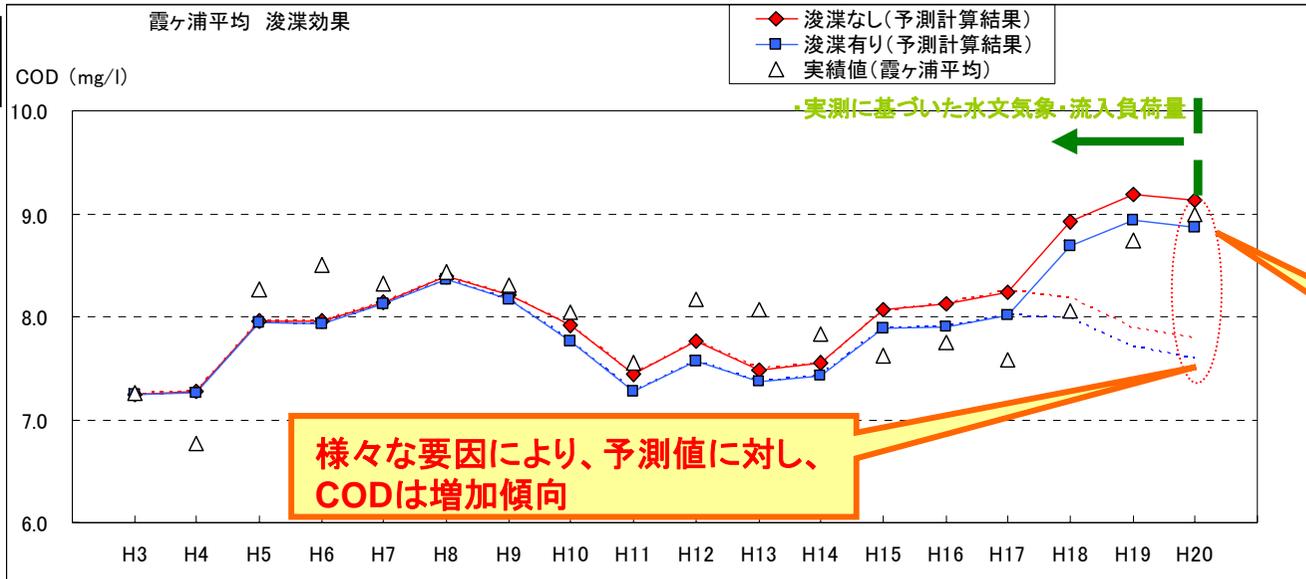
- 実測値をもとにシミュレーションを実施したところ、実績とシミュレーションの結果は、ほぼ追従。
- 平成20年時点で霞ヶ浦平均COD改善効果約0.3mg/lを確認。

西浦平均



シミュレーションによる
浚渫効果(H20時点)
約0.4mg/l

霞ヶ浦平均



シミュレーションによる
浚渫効果(H20時点)
約0.3mg/l

5-2. 霞ヶ浦の水質に影響を与えるその他の要因

- 透明度の変化に伴い内部生産が増大する要因。
- 近年、優占種が糸状藍藻類から珪藻類へ変化してきている。
- 珪藻類は細胞が大きいいため、酸化に要する酸素量が多くなり、CODが上昇する。

(1) 透明度の変化に伴い内部生産が増大する要因

近年、西浦は、湖水の透明度が高くなってきている。

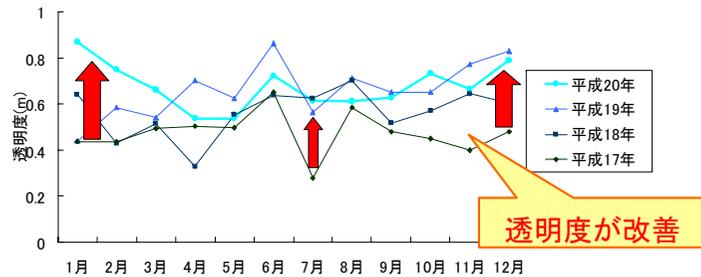
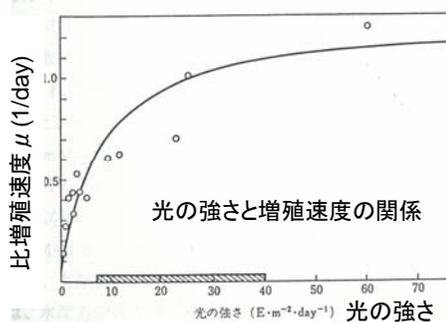


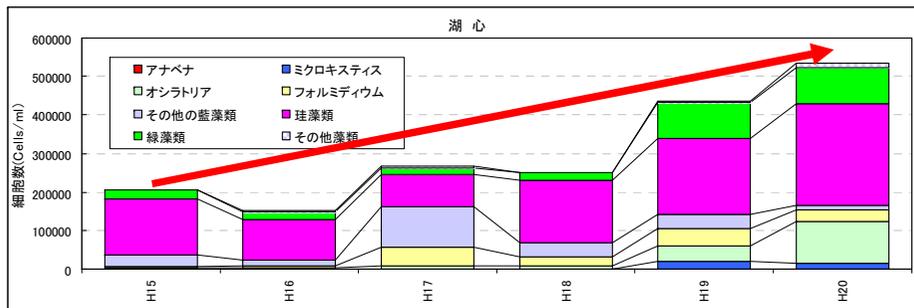
図 西浦における透明度の変化



光の強さと共に比増殖速度も増えることから内部生産が活発となりCOD上昇の要因となる

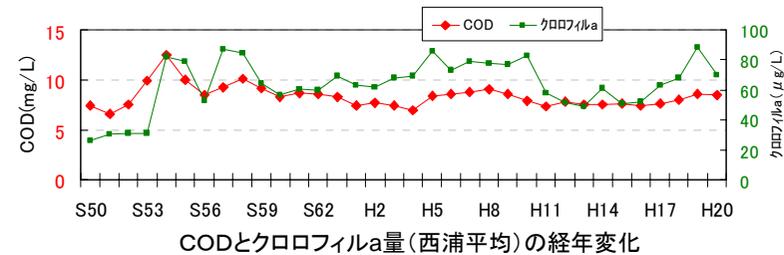
参考文献:「水の華の発生機構とその制御」東海大学出版会

透明度が高くなったことにより、光合成層が拡大し、増殖速度も増加したことから、細胞数が増加。

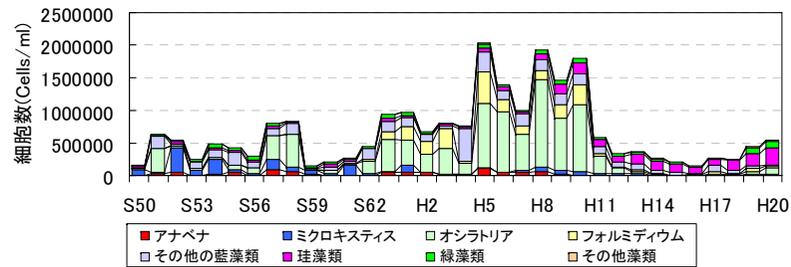


(2) 植物プランクトンの細胞数や種の変化に伴う要因

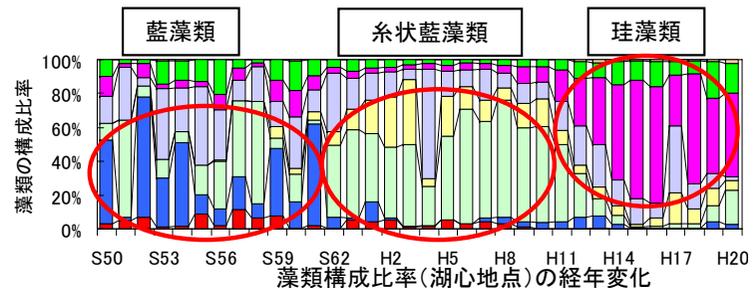
湖内の植物プランクトン数や構成種及びその割合は一定ではない。それらの変化が、湖水質に影響している。また、細胞数と細胞の大きさによって植物プランクトン由来の有機物量が規程され、その値が大きいほど有機物量は多くなりCODは高く計測される。近年の優占種である珪藻類は細胞数が増加傾向にあり、かつ細胞が大きいため、CODが高くなる。



CODとクロロフィルa量(西浦平均)の経年変化



藻類細胞数(湖心地点)の経年変化



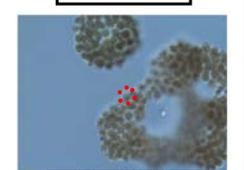
珪藻類



Cyclotella (×400)
(キクロテラ)
細胞直径5-15 µm

水温があまり高くない春先や秋ごろに高い増殖率をもつ。ある程度の光量がなければ十分な光合成ができない。増殖速度は比較的速い。

藍藻類



Microcystis (×400)
(ミクロキステス)
細胞直径2.5-8 µm

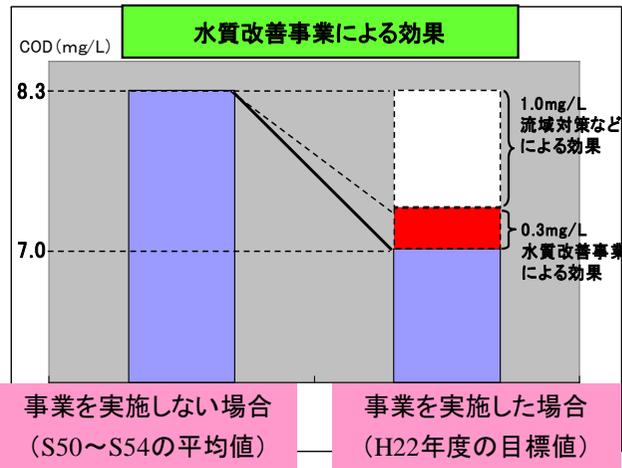
水温の比較的高い夏場に高い増殖率をもつ。また、多量の光が無くても十分に光合成を行うことができる。増殖速度は比較的遅い。

6. 霞ヶ浦環境整備事業（水環境） アンケートの改善

当初アンケート

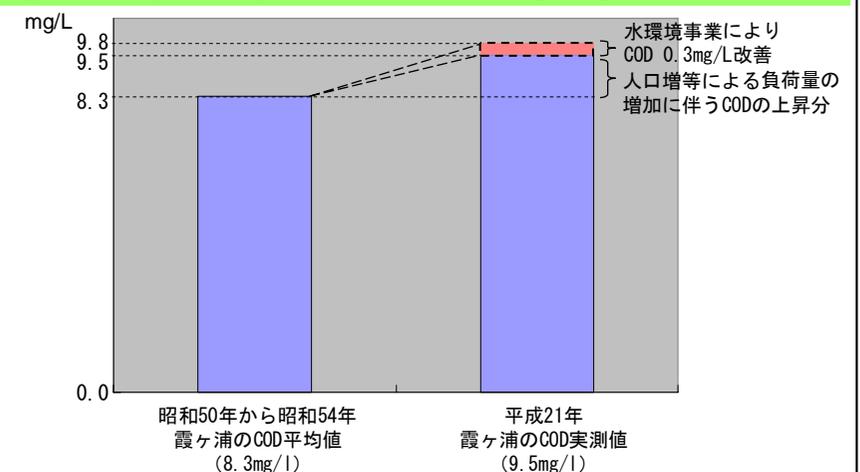
再アンケート

効果の表現



●霞ヶ浦の水量は約8.5億 m^3 あり、水質改善事業により、CODを概ね0.3mg/l低減すると試算しています。これは、約400万世帯（茨城県全世帯の約3.7倍）の合併処理浄化槽の処理量に相当します。

霞ヶ浦全体(8.5億 m^3)に対する水環境事業による効果



○霞ヶ浦の水量は8.5億 m^3 であり、水環境事業により、現状のCODは概ね0.3mg/L改善されていると試算している。

WTP

293円

308円

回収数

623世帯

626世帯

有効回答数

424世帯(68%)

384世帯(61%)

B/C

1.3

1.3

7. 受益範囲の設定

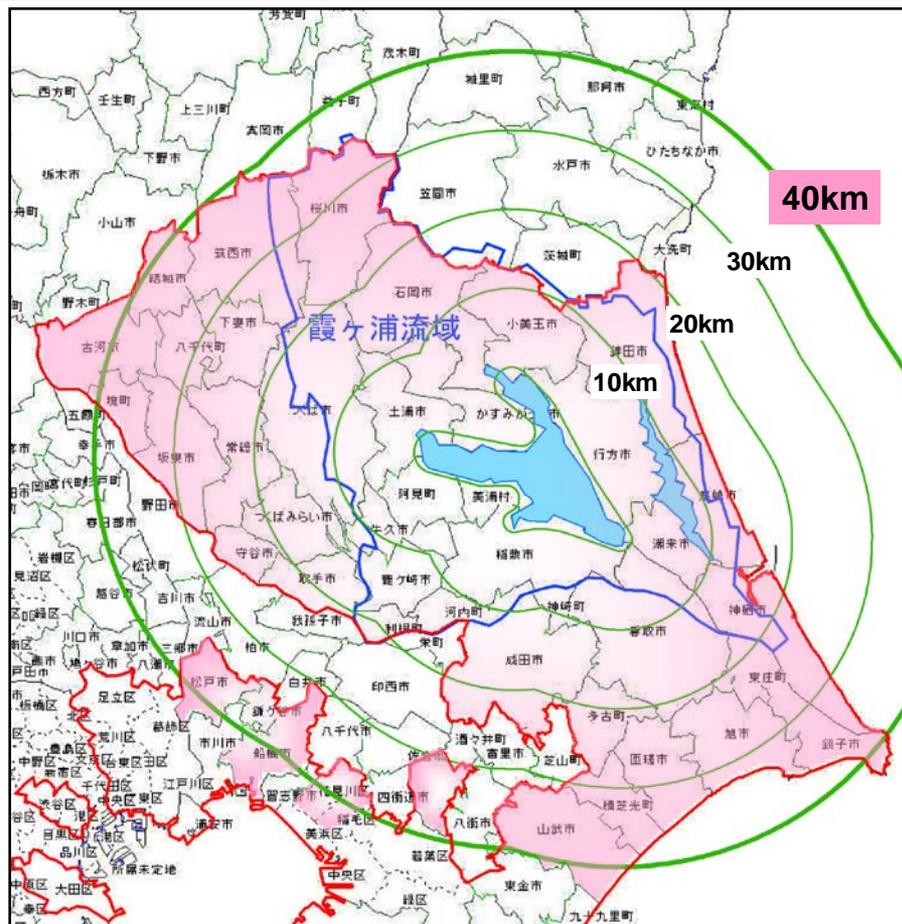
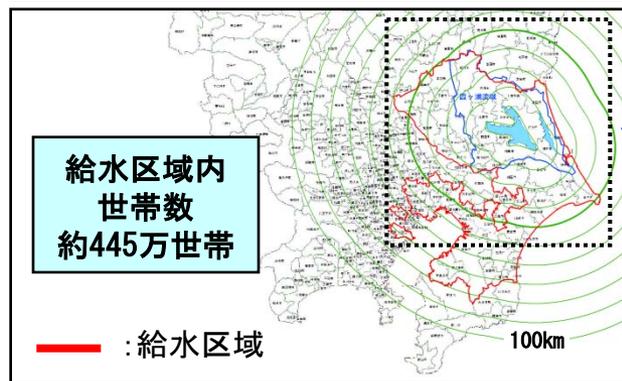
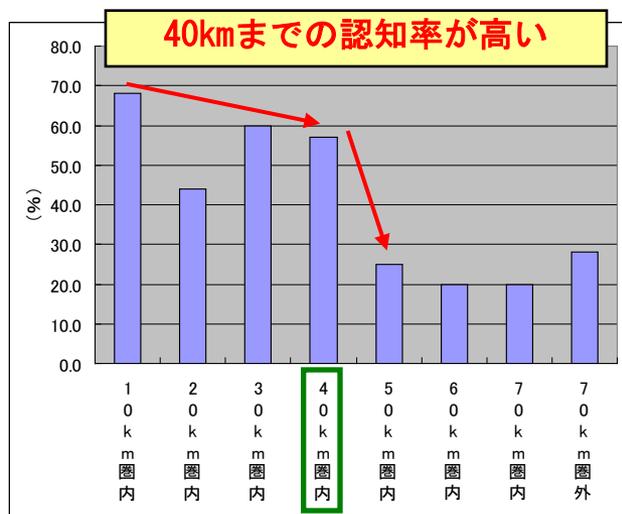
受益範囲の設定

◆水環境

アンケート調査の結果、霞ヶ浦の水質悪化の状況や水環境事業の取組みに対する認知率が、霞ヶ浦湖岸から40kmまでが高い。

また、東京都および千葉県南部を除く霞ヶ浦の給水区域が概ねこの範囲に含まれることを勘案し、湖岸から40km圏を受益範囲として設定する。

【居住地別の水質状況・水環境事業の認知率】

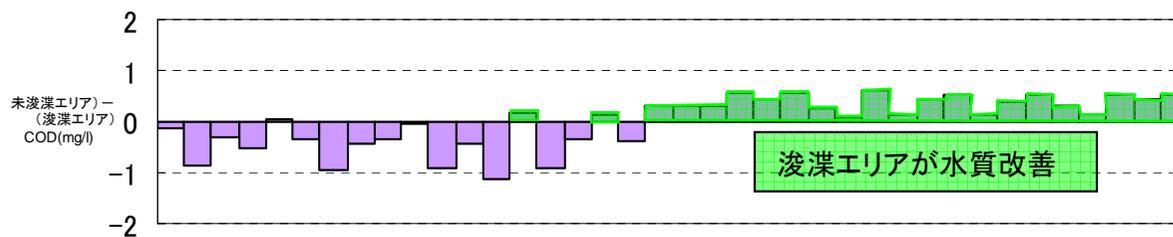
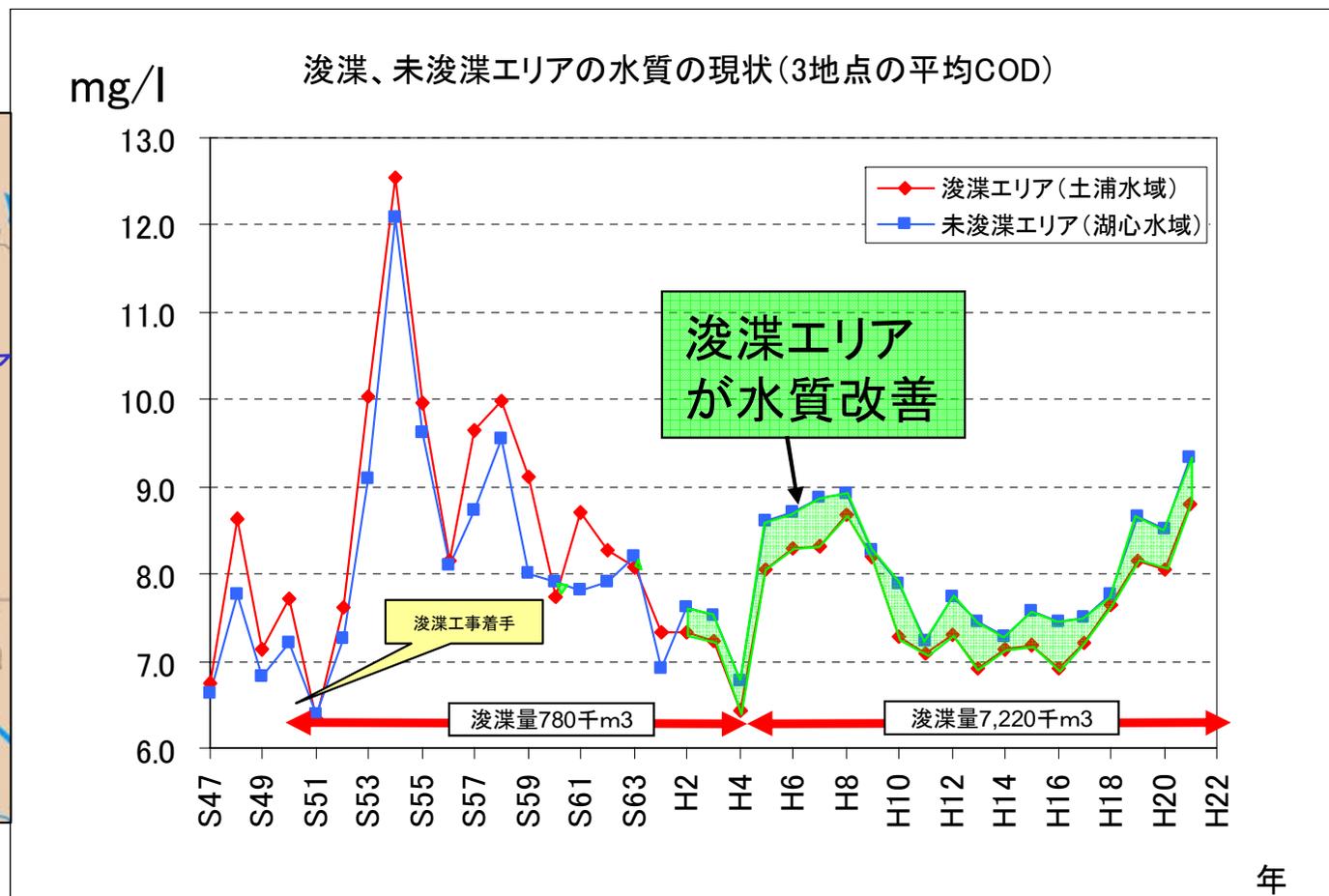


(参考1) 浚渫エリア・未浚渫エリアの水質変化

●CODは、土浦水域が湖心水域よりも高かったが、平成2年より、浚渫エリアの土浦水域が未浚渫エリアの湖心水域よりも0.4mg/l(平成2年から平成21年までの平均値)低くなっている。



水質測定地点位置図



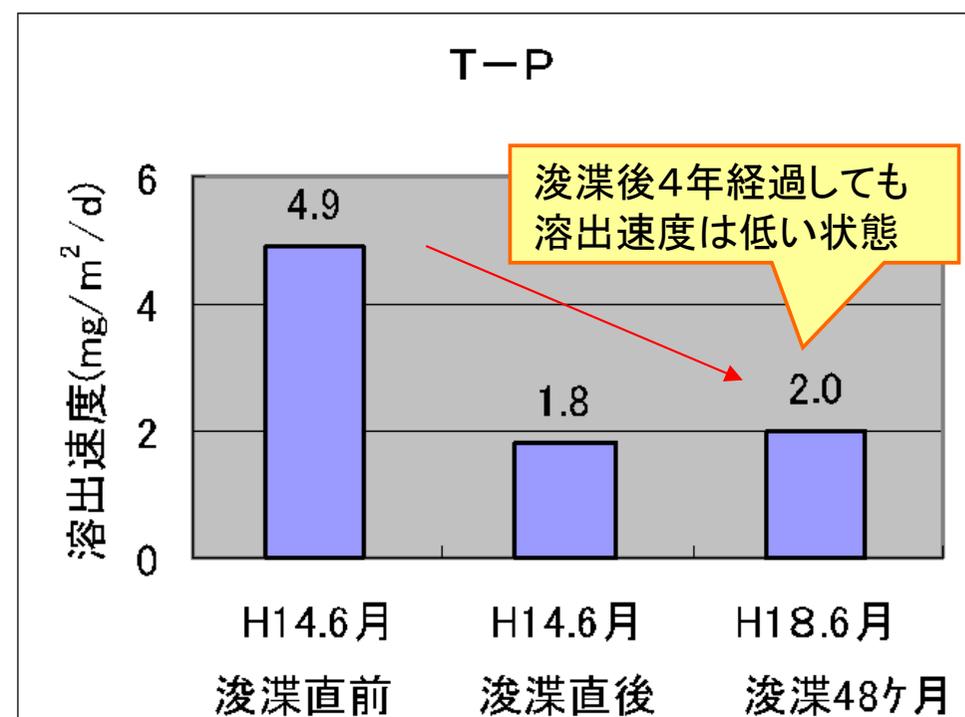
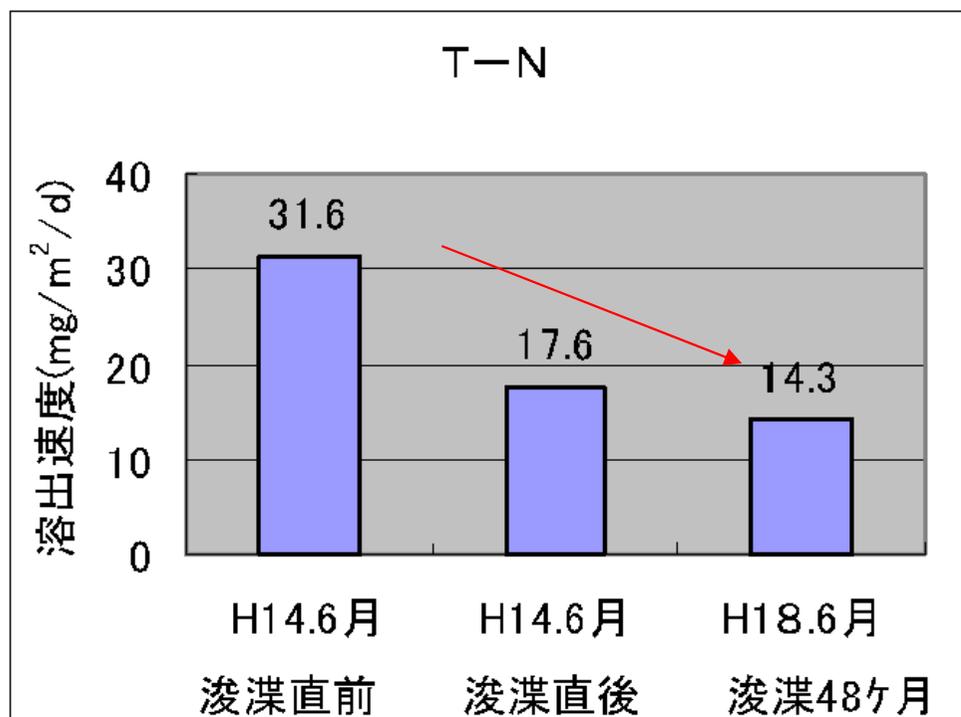
(参考2) 浚渫エリアの溶出試験結果

- 浚渫後の溶出速度は、浚渫前の1/2以下。
- 浚渫直後には大きく溶出速度が減少し、湖内の負荷量が削減。



位置図

室内溶出試験結果



掛馬沖溶出速度の推移(同時期での比較)

(参考3) 浚渫前後の底泥の栄養塩類濃度

● 浚渫を実施したエリアでは、底泥の栄養塩類の濃度が低下している。

底泥の濃度の差分図(COD)



凡例
COD濃度差分
(mg/g乾泥)

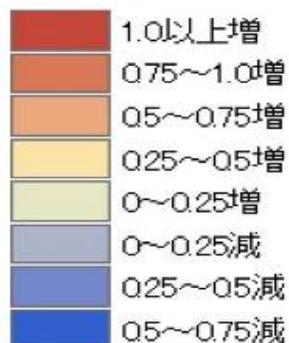


□ H14年度までの浚渫区域

底泥の濃度の差分図(T-P)



凡例
リン濃度差分
(mg/g乾泥)



□ H14年度までの浚渫区域

底泥の濃度の差分図(T-N)



凡例
窒素濃度差分
(mg/g乾泥)



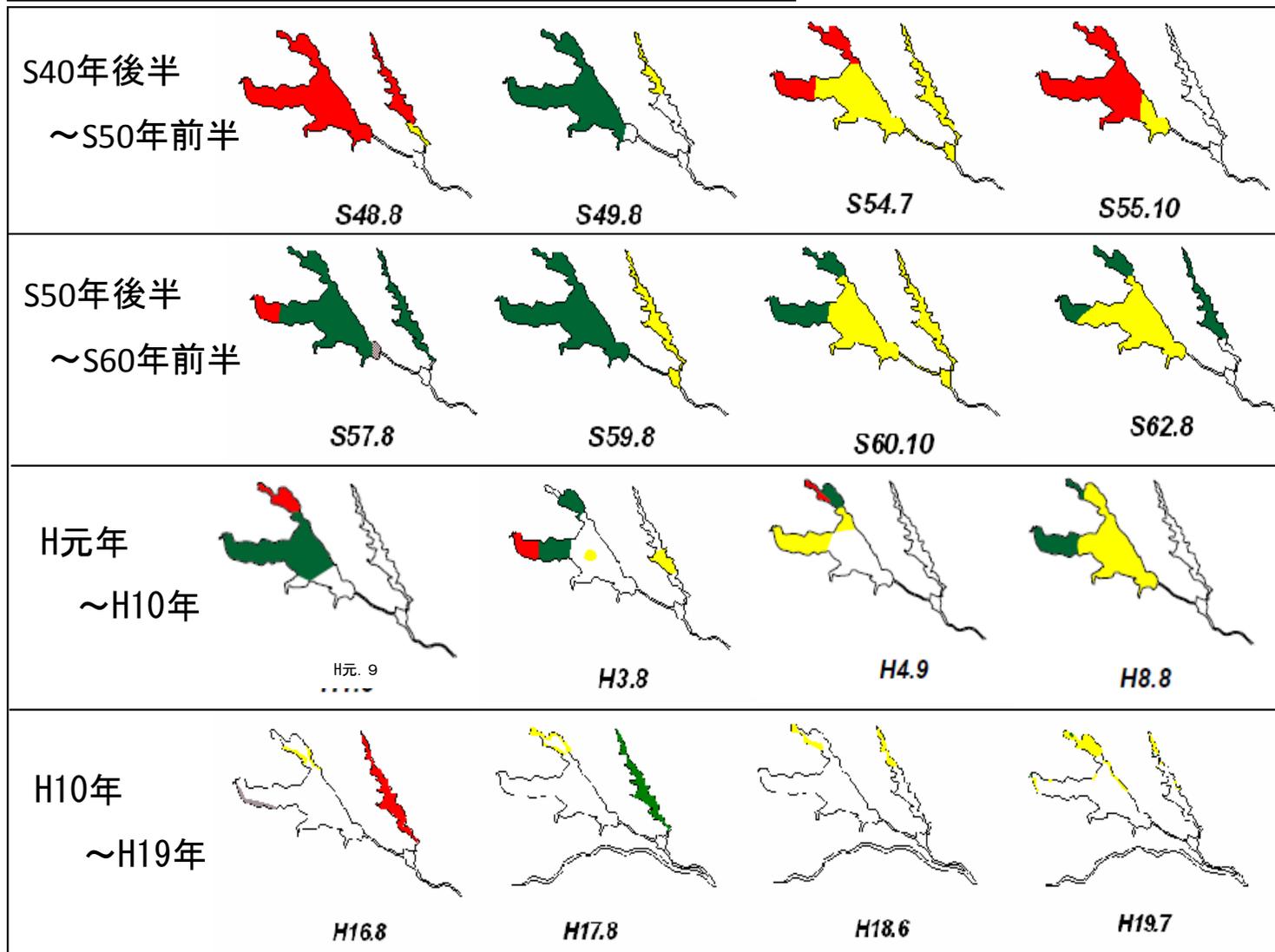
□ H14年度までの浚渫区域

※平成15年（大規模浚渫実施中）と平成4年（大規模浚渫実施直前）の底泥の濃度の差分を色分けして図化した。

(参考4)アオコの発生状況

●近年、西浦においてはアオコの大発生はなくなっている。

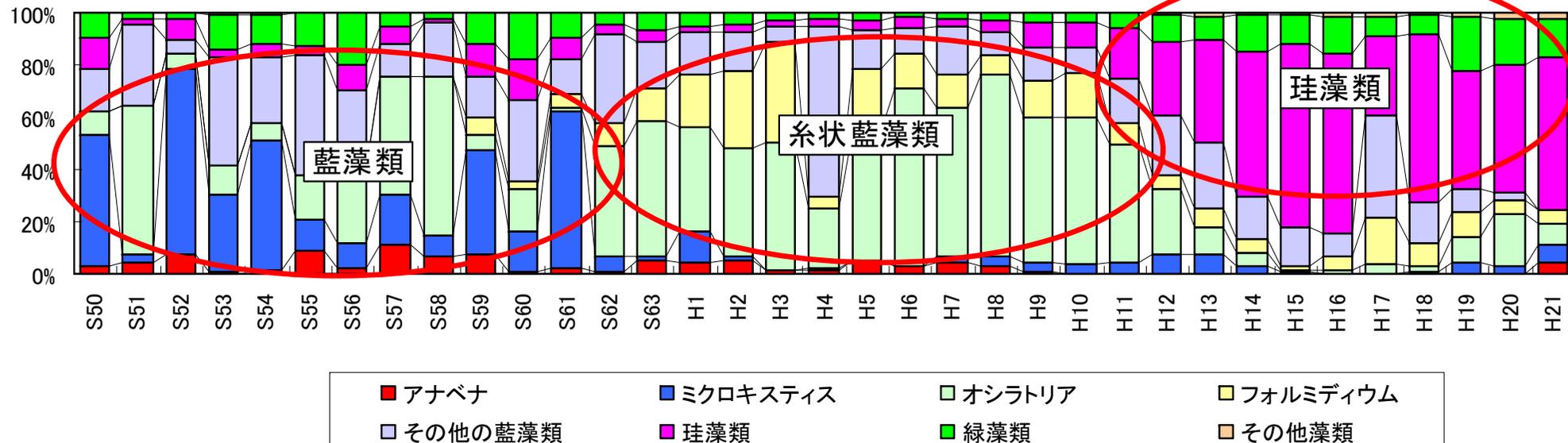
アオコの年代別発生状況



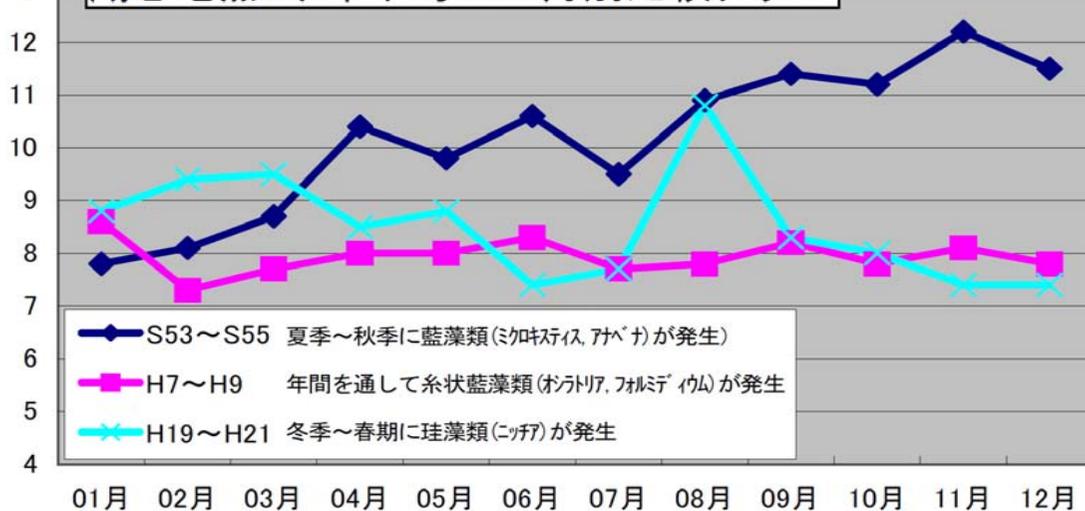
- アオコ無し
- アオコ少し有り レベル2.3
- アオコ多い レベル4
- アオコ非常に多い レベル5.6

(参考5) 西浦湖心地点におけるプランクトンの変遷

湖心地点プランクトン分類群別・年積算細胞数の出現割合



湖心地点3ヶ年平均COD月別比較グラフ



プランクトンの特徴

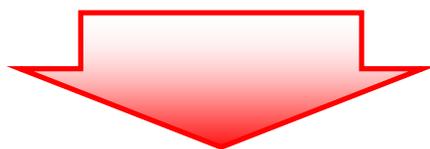
プランクトン名	類	特徴	CODへの影響
ミクロキスティス, アナベナ	藍藻類	アオコの原因。夏季に増加し冬季は減少	夏季~秋期に上昇
オシラトリア, フォルミディウム	糸状藍藻類	かび臭の原因。年間を通して発生	年間通して上昇
ニッパ	珪藻類	冬~春に特に多い。動物プランクトンに補食されにくい。	冬季~春季上昇

◆ 各種対策を実施しているがCODが改善されない理由

【茨城県環境審議会での審議】

○ 各種対策により透明度が改善されたため、植物プランクトンが増殖し、CODが高くなったのではないか。

○ 植物プランクトンの優占種の変遷が影響しているのではないか。



- CODだけで水環境の全体像を評価することはできない。
- 魚が増え、透明度が改善された点は良いことである。

(参考7)霞ヶ浦の水環境の現状について

「水環境改善対策」について前田修氏の見解(平成22年8月17日)

茨城県霞ヶ浦環境科学センター長(元筑波大教授:湖沼生態学)

- アオコ大発生を終息には、下水高度処理の普及、洗剤無リン化に加え、浚渫(溶出削減)が寄与したと思われる。
- 浚渫後は「無酸素層」の発達を抑えられている。
- 浚渫だけではCODを削減しないが、更なるCOD上昇の抑制に役立っていると思われる。
- CODの目に見える削減には、負荷を半減させる必要がある。
(1割2割の削減は数値を下げない)
- 現実問題としての水質改善には、可能なすべての手法を長時間積み上げるしかない。
- 大湖霞ヶ浦での施策効果は長期的視野(10年単位)から論じる必要がある。
(劇薬的即効薬でなく漢方薬的手法に頼っているので)
- 珪藻が増えているのは生産層の拡大(透明度の上昇)の結果で、ワカサギ生産量も上向きなことから、霞ヶ浦は健全な方向に向かいつつあるといえる。

(参考8) 北浦と西浦の底泥比較

- 夏季の底泥中の全リン，全窒素等の鉛直分布を地点毎に比較すると、その値は
北浦(釜谷沖) > 西浦(牛込沖・浚渫区)
となっており、浚渫効果が現れている。

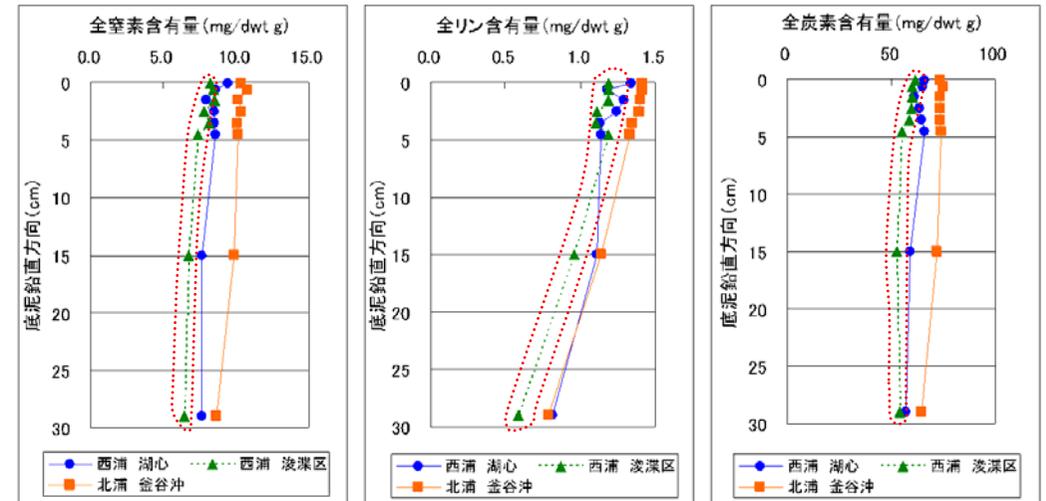
◆比較調査地点



◆調査・試料の採取時期

- ・西浦 湖心 : 平成18年～20年 夏季
- ・西浦 浚渫区 : 平成18年～20年 夏季
- ・北浦 釜谷沖 : 平成18年～20年 夏季
- ・西浦 (土浦出張所入り口) : アオコ採取地点

◆底質の性状



- ・調査期間中の底泥に含まれる富栄養物質(リン・窒素等)の調査を行った。
- ・夏季の底泥中の全リン，全窒素等の鉛直分布を地点毎に比較すると、いずれも、**底泥浚渫により**底泥表層の分解されやすい有機物を含んだ層が除去された**浚渫区は富栄養物質(リン・窒素等)の含有量が低い結果となった。**

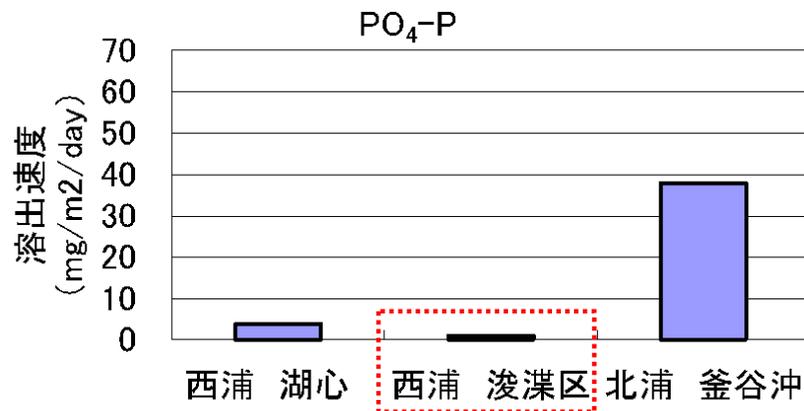
(参考9) 北浦と西浦の溶出速度比較

●好気条件及び嫌気条件において、溶解性リンの溶出速度を地点毎に比較すると、その値は

北浦(釜谷沖) > 西浦(牛込沖・浚渫区)

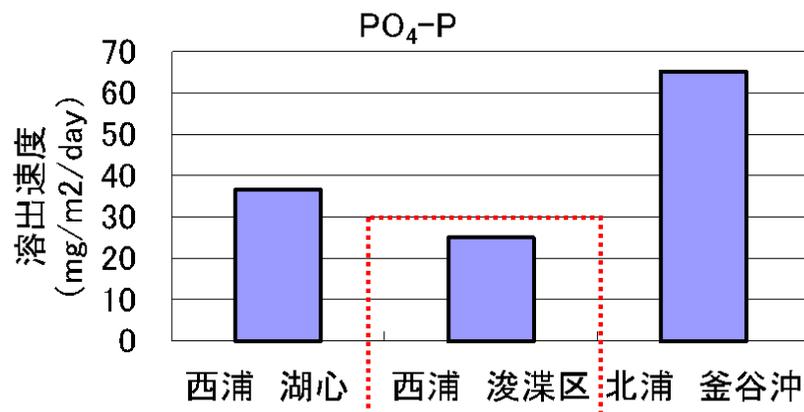
となっており、浚渫効果が現れている

好気での溶出速度 (mg/m²/day) 0~5日目



・夏季の高水温期(30℃)における底泥からの溶解性リン溶出速度は、好気条件及び嫌気条件いずれも、**底泥浚渫により底泥表層の分解されやすい有機物を含んだ層が除去された浚渫区は溶解性リンの溶出速度が低い結果となった。**

嫌気での溶出速度 (mg/m²/day) 0~5日目



(参考10) 北浦と西浦の藻類増殖比較

- 現地で採取した藻類株を培養実験を行った結果、クロロフィルa濃度の値は
北浦(釜谷沖) > 西浦(牛込沖・浚渫区)
となっており、浚渫効果が現れている



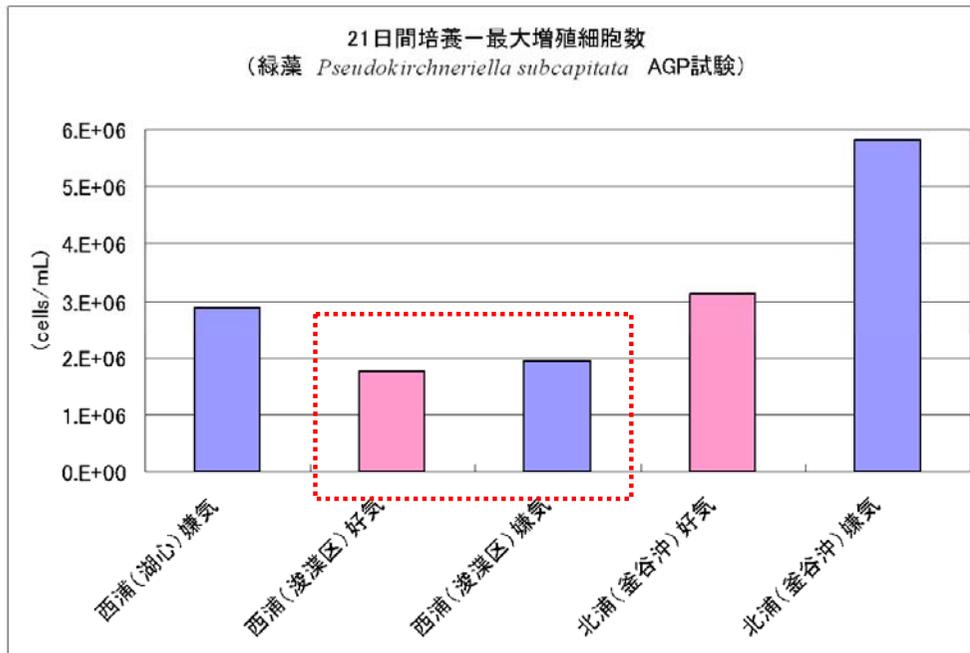
現地アオコ発生状況



藍藻(顕微鏡×200)



藻類培養実験状況



- ・現地で採取した藍藻(ミクロスティス)及び緑藻(ペデリリュウム)を単離培養を繰り返して増殖させた株を使用し培養実験を行った。
- ・クロロフィルa濃度が最も増加した培養液は北浦(釜谷沖)であり、**底泥浚渫により底泥表層の分解されやすい有機物を含んだ層が除去された浚渫区のクロロフィルa濃度が低い結果となった。**