

## ダム・貯水池と湖沼の水質保全対策 の現状と今後の課題

東北大学大学院工学研究科 客員教授  
NPO法人環境生態工学研究所 理事長  
須藤 隆一

1

## 本日の話題

1. はじめに(水環境保全と水道)
2. 水環境保全の経緯
3. 閉鎖性水域の現状
4. 湖沼保全特別措置法
5. 閉鎖性水域修復手法
6. ダム、貯水池、湖沼のこれからの水環境保全
7. まとめ

2

## 水環境保全と水道

3

---

### 閉鎖性水域を水源とした水環境保全の課題

- ・公共用水域類型あてはめが不十分
  - ・湖沼環境基準のあてはめが少ない
  - ・公共用水域の水環境管理システム
  - ・河川か閉鎖性水域か明確に区分できない水域
- 

4

## ダム、貯水池、湖沼の特性

		面積	容積	深度	回転率	沿岸帯	底層
人工湖	ダム	大	大	大	大	小	小
	貯水池	中	中	中	中	小	中
自然湖	湖沼	大	中～大	小～大	大	大	大
	河川 (淵・よどみ)	小	小	小	大	大	中

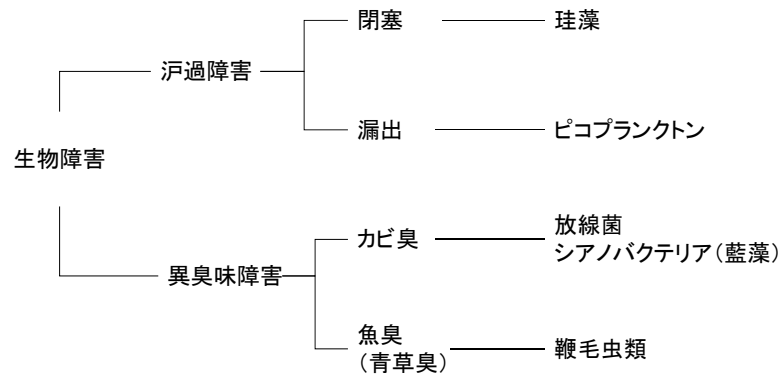
5

## わが国の水道

- ・年間 157.3億m<sup>3</sup>
- ・取水源:
  - 河川 25.4%
  - ダム 47.2%
  - 湖沼 1.3%
  - 伏流水 3.7%
  - 井戸水 19.6%
  - その他 2.8%
 ダム、湖沼への依存率約50%
- ・水道利用率: 97.6%(1億2,466万人利用)
- ・水道水質基準: 50項目(トリクロロエチレン0.03→0.01mg/l)
- ・塩素消毒: 不可欠
- ・高度処理: 約30%

6

## 水道の生物障害



いずれも水域の富栄養化と密接に関わる微生物

7



8

水環境とは  
水にかかわる多くの環境を含む

- 水質
- 底質
- 水生生物
- 水辺地
- 水量、等

9

## 水質公害対策から水環境保全へ

1956年	水俣病
1958年	水質二法
1967年	公害対策基本法
1970年	水質汚濁防止法
1973年	瀬戸内海環境保全臨時措置法
1983年	浄化槽法
1984年	湖沼水質保全特別措置法
1993年	環境基本法
1994年	水源二法
1999年	ダイオキシン類対策特別措置法
2002年	有明海及び八代海を再生するための特別措置法
2004年	外来生物法

10

## 水質汚濁の主要な原因

1950年～1970年代	工場排水(重金属、有機物)
1970年～1980年代	生活排水(有機物、窒素、リン)
1980年～1990年代	各種排水(ダイオキシン類、農薬、環境ホルモン等化学物質)
1990年～2000年代以降	面源排水(市街地、農地等)の窒素、リン

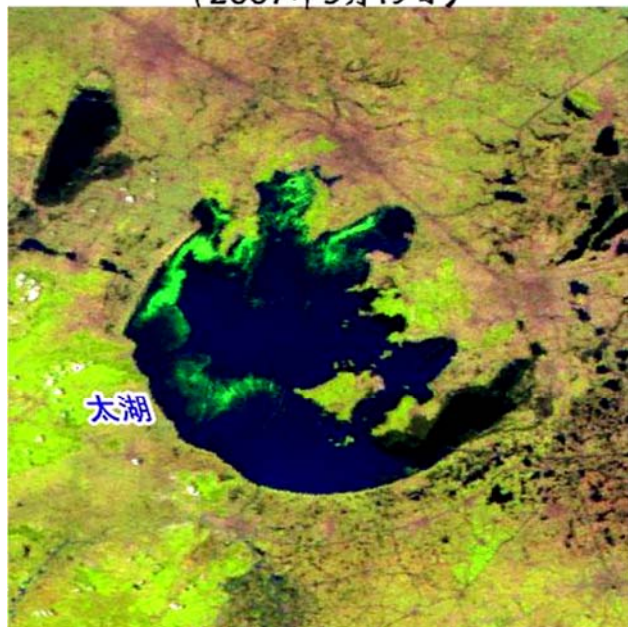
11

## 閉鎖性水域の現状

12



EOS/MODIS太湖水体监测图  
(2007年5月19日)



13

2007年5月20日，太湖梅梁湖湾



2007年5月7日，太湖贡湖水源地



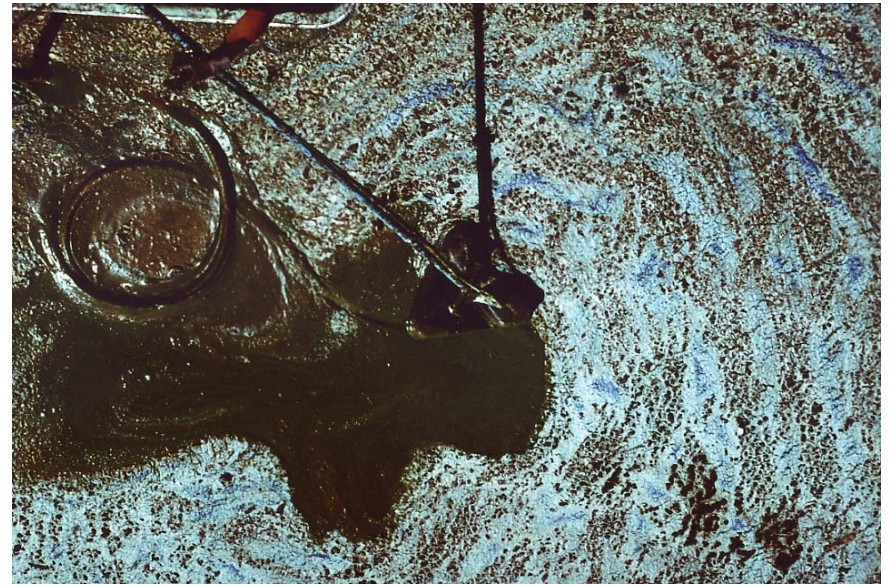
2007年5月19日，无锡市







17



18



アオコが発生した霞ヶ浦の土浦港（1998年8月）

## 21世紀初頭の水環境問題

1. 閉鎖性水域の富栄養化
2. 有害化学物質による汚染の多様化・広域化
3. 地下水汚染の進行
4. 中小河川の有機汚濁
5. 非特定発生源による汚濁
6. 水生生物の減少・単純化
7. 水辺環境の喪失
8. 水循環の遮断・水量の減少

## 水環境の望ましい目標と環境

### 良好な水環境(目標)

#### 【水質】

人の健康の保護、生活環境の保全、さらには、水生生物等の保全の上で望ましい質が維持されること。

#### 【水量】

平常時において、適切な水量が維持されること。土壌の保水・浸透機能が保たれ、適切な地下水位、豊かな湧水が維持されること。

#### 【水生生物等】

人と豊かで多様な水生生物等との共生がなされること。

#### 【水辺地】

人と水とのふれあいの場となり、水質浄化の機能が発揮され、豊かで多様な水生生物等の生育・生息環境として保全されること。

### 水環境保全の目標

#### 人の健康の保護に関する環境基準

- ・直ちに排水規制を行う必要はないが、モニタリングを行う必要がある項目について環境基準とすることを検討
- ・リスク管理の推進、評価手法の検討等

#### 生活環境の保全に関する環境基準

- ・実態を適確に表す指標の検討
- ・BOD/CODを補完する指標
- ・有効な衛生指標(大腸菌等)
- ・DO、SS等の評価方法
- ・水生生物保全のための基準追加・類型指定等

## 水質環境基準の健康項目

1970~1975年に決まった従来の項目	1993年に追加された項目	1999年に追加された項目	2009年に追加された項目※
カドミウム、シアンなど8項目	トリクロロエチレン、チウラムなど15項目	亜硝酸および硝酸性窒素など3項目	1.4ジオキサン1項目

※地下水には別に2項目

## 水質環境基準の生活環境項目

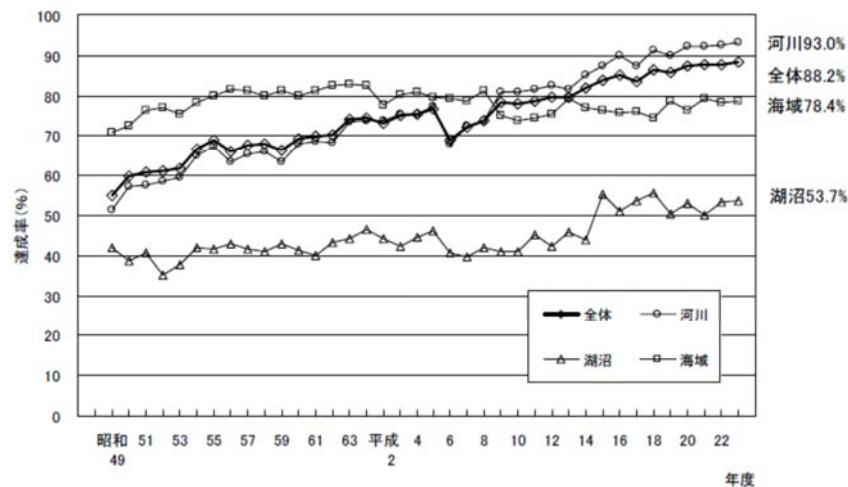
(ア)

	類型	pH	BOD	COD	SS	DO	大腸菌群	n-ヘキサン抽出物質
河川	6	○	○		○	○	○	
湖沼	4	○		○	○	○	○	
海域	3	○		○	○	○		○

(イ)

	類型	TN	TP
河川	—		
湖沼	5	○	○
海域	4	○	○

## 環境基準達成率の推移(BOD又はCOD)

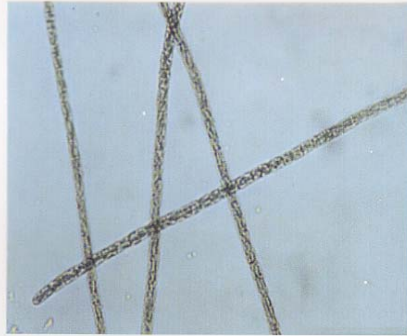




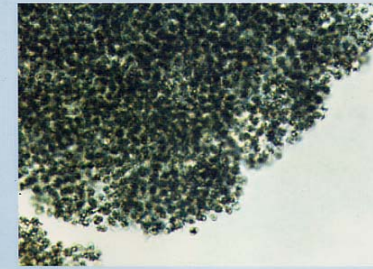
## 有毒アオコ *Microcystis* と *Oscillatoria*



有毒アオコ (*Microcystis aeruginosa*)



糸状性有毒アオコ (*Oscillatoria mougeotii*)

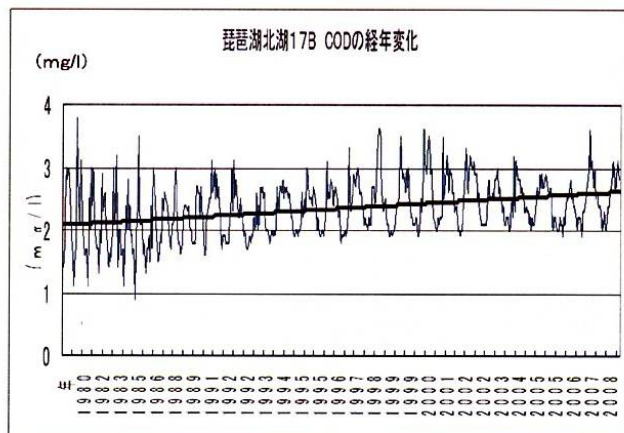


毒素	LD <sub>50</sub> ( $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )
ボツリヌス毒素	0.00003
シガトキシン	0.35
テトロドキシン	8
サキトキシン	10
ダイオキシン	20
アナトキシン-a(s)	40-50
ミクロキスティン-LR	80
ミクロキスティン-YR	100
オカダ酸	200
コレラ毒素	250
ミクロキスティン-RR	600
青酸カリ	5,000

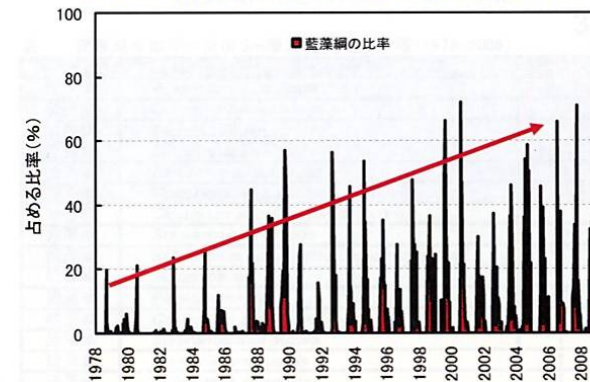
※マウス腹腔内投与, WHOの飲料水質ガイドライン  
ミクロキスティンLR:  $1 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$

藍藻類 *Microcystis aeruginosa*(上)と各種毒性物質との毒性比較

## 今津沖中央表層CODの変化



## 植物プランクトン総細胞容積中に藍藻の占める割合 (北湖今津沖中央表層)



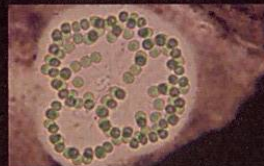
### 琵琶湖における主な藍藻の粘質鞘計測結果



*Aphanothece clathrata*  
粘質鞘 N20 3800倍



*Microcystis wesenbergii*  
粘質鞘 N11 86倍



*Gomposphaeria lacustris*  
粘質鞘 N20 9.5倍



*Microcystis novacekii*  
粘質鞘 N20 71倍

29

落射蛍光顕微鏡G励起  
鮮赤色に光っているのがピコシアバクテリアのphycoerythrin(PE) richタイプ



落射蛍光顕微鏡B励起  
黄色に光っているのがピコシアバクテリアのphycoerythrin(PE) richタイプ

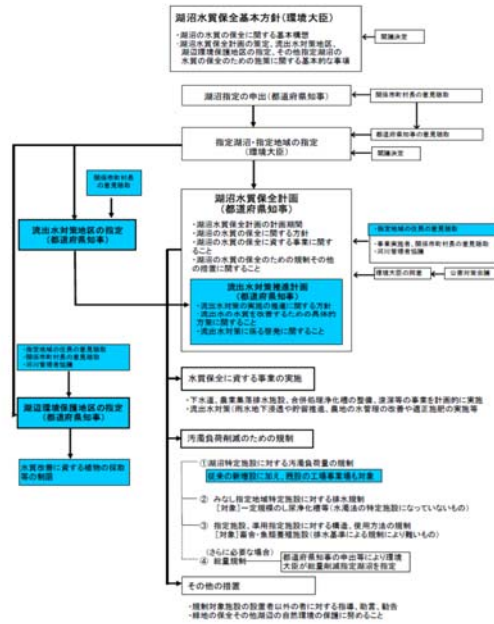


## 湖沼保全特別措置法

32



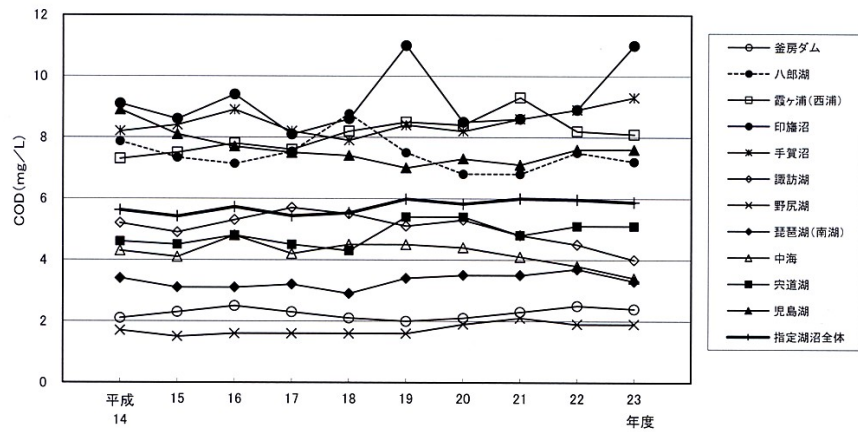
### 湖沼水質保全特別措置法の体系



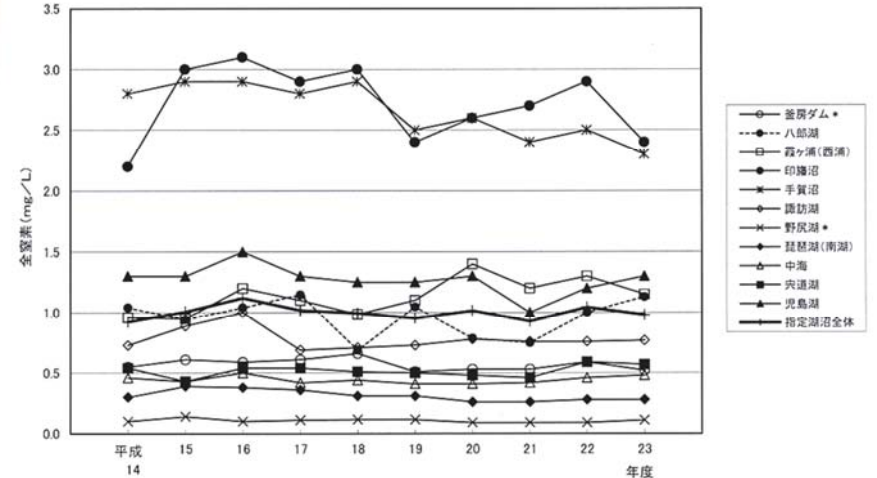
### 指定湖沼位置図



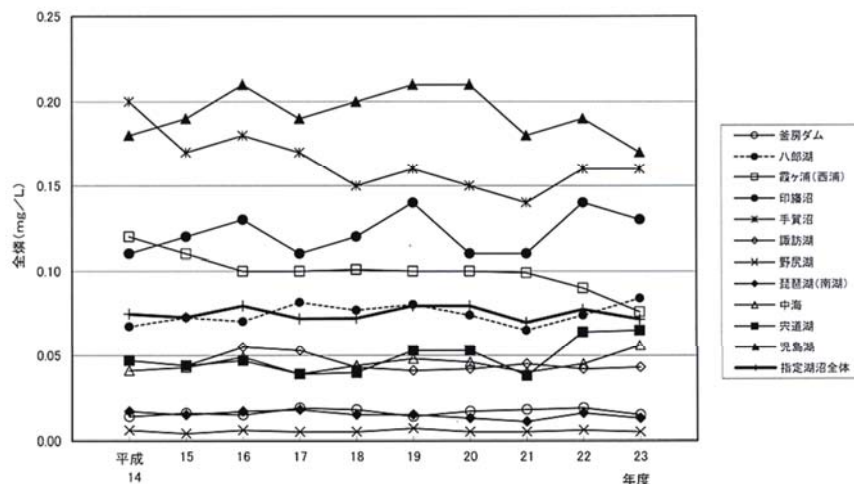
### 指定湖沼の水質状況の推移(COD)



### 指定湖沼における全窒素の濃度推移



# 指定湖沼における全リンの濃度推移



# 湖沼の水環境保全に関する政策評価

(平成16年8月3日)

総務省より農林水産省、国土交通省、環境省に通知

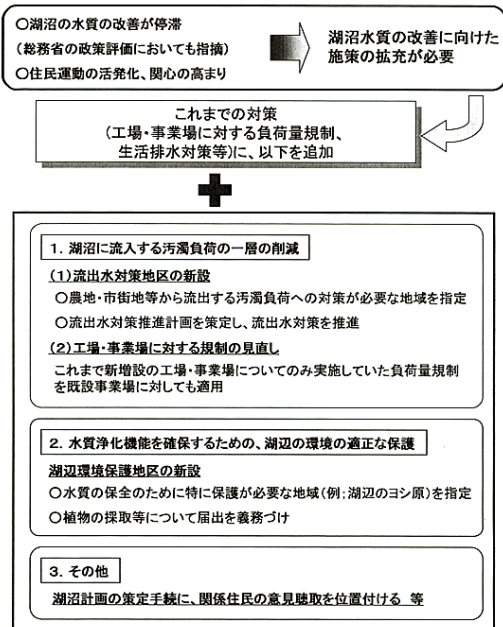
## 1. 評価の結果

湖沼法の施行から20年経過しているにもかかわらず、総体として期待される効果が発現しているとはみとめられない

## 2. 意見

- (1) 水質汚濁機構の解明、汚濁負荷の的確な把握
- (2) 各種施策の着実な実施
- (3) 非特定汚染源対策の着実な実施
  - ・接続の推進、高度処理化
- (4) 経済的手法等の新たな政策手段の導入

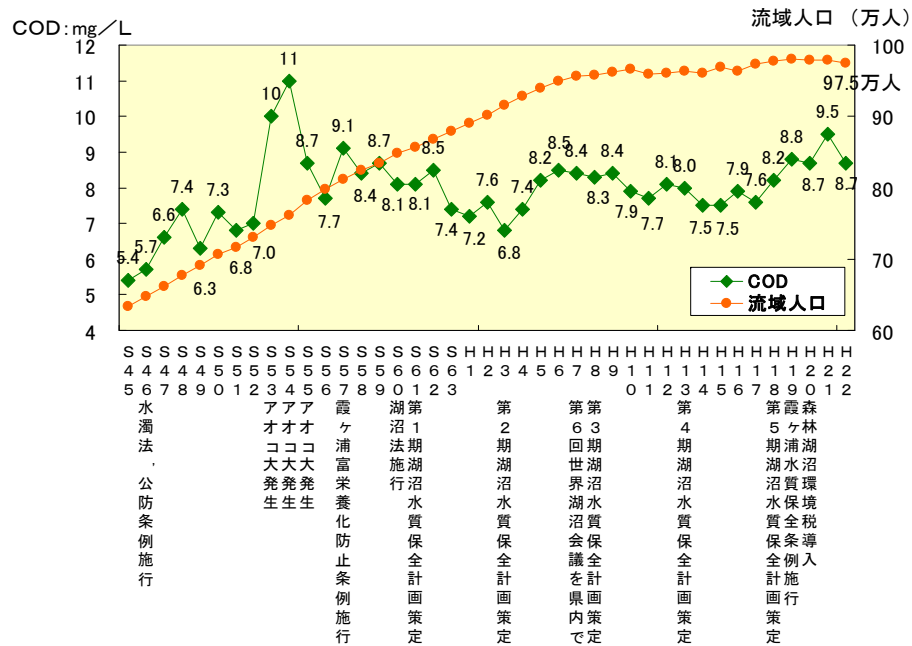
### 湖沼水質保全特別措置法の一部を改正する法律案について



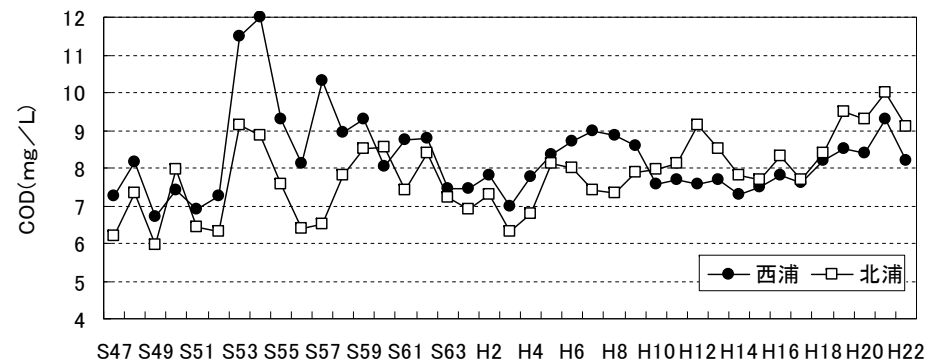
# 霞ヶ浦の諸元

湖沼の成因	海跡湖
最大水深 (m)	7
平均水深 (m)	4
湖面積 (km <sup>2</sup> )	219.9
湖容積(百万m <sup>3</sup> )	850
流域面積 (km <sup>2</sup> )	2,157
流域人口 (万人)	97 (2010)
平均滞留日数	約200日
湖沼型	富栄養湖, 淡水
利水の状況	上水・工水・ 農業用水・水産

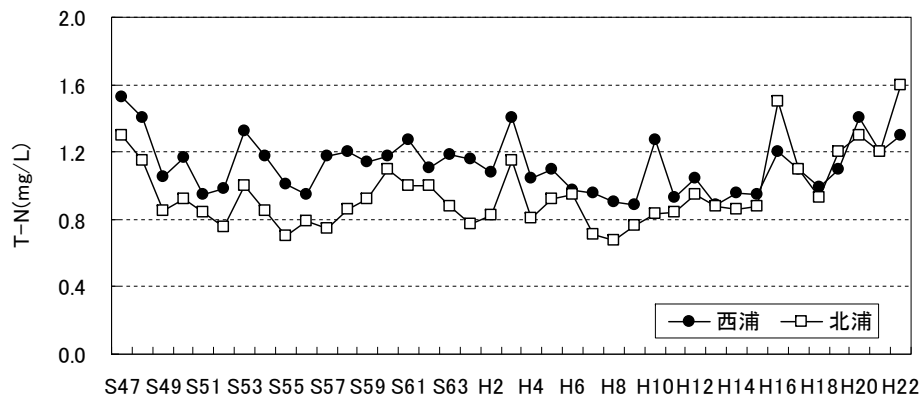
霞ヶ浦の水質、流域人口の推移



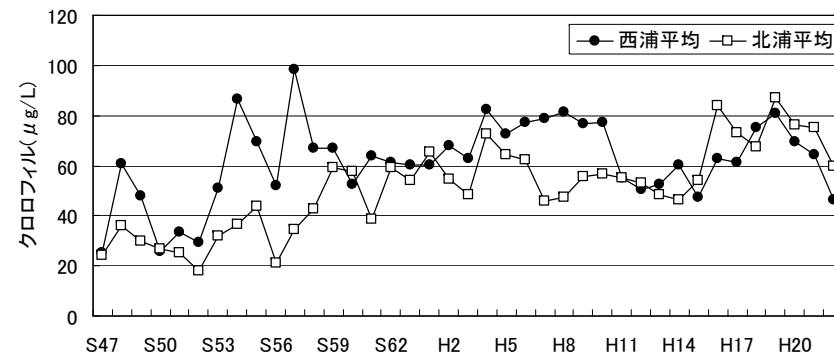
## CODの推移



## 窒素濃度の推移

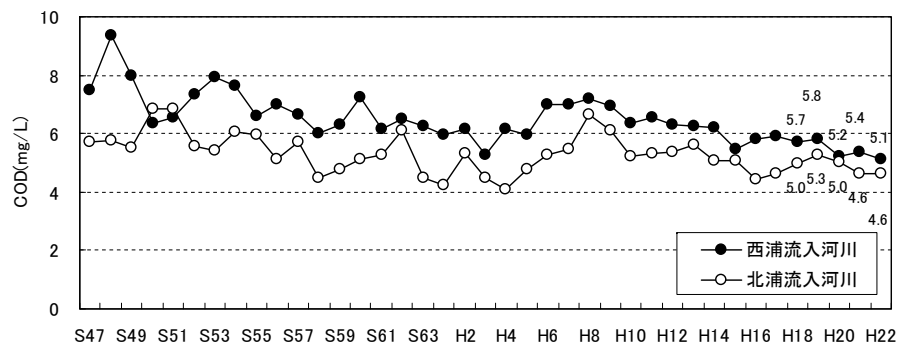


## クロロフィルの推移



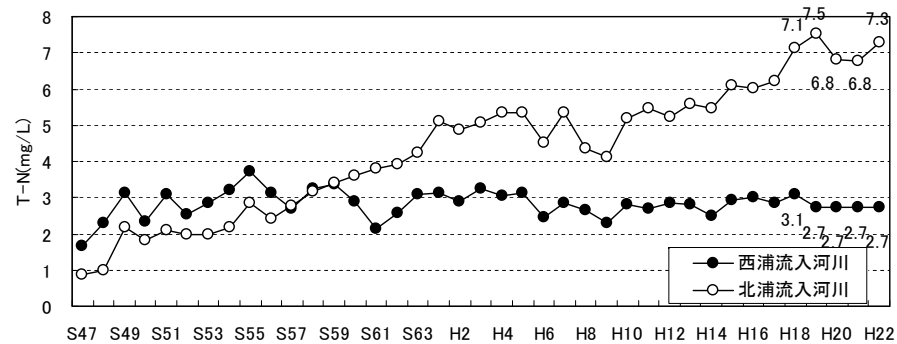


## 流入河川の水質(COD)



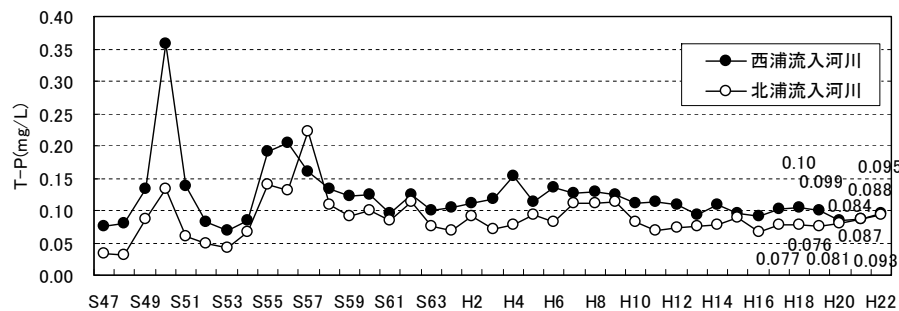
(流域面積比または流量比で加重平均を算出)

## 流入河川の水質(窒素)



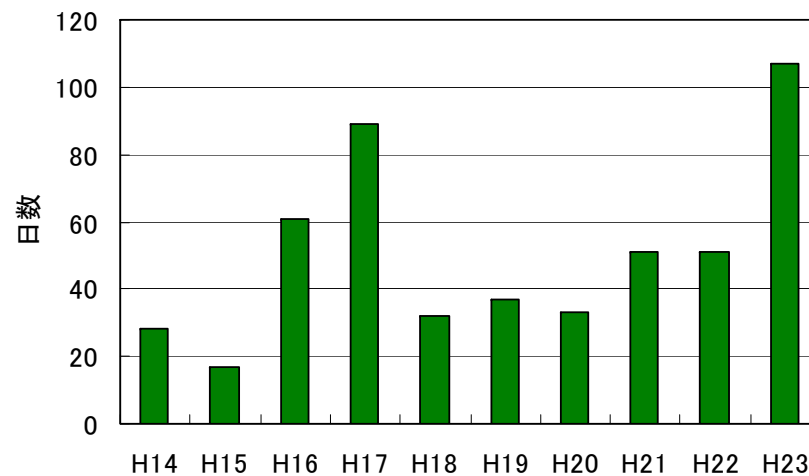
(流域面積比または流量比で加重平均を算出)

## 流入河川の水質(りん)



(流域面積比または流量比で加重平均を算出)

## アオコ発生確認日数



## 見た目アオコ指標

レベル0	アオコの発生は認められない
レベル1	アオコの発生が肉眼で確認できない
レベル2	うっすらとすじ状にアオコの発生が認められる
レベル3	アオコが水の表面全体に広がり, 所々パッチ状になっている
レベル4	膜状にアオコが湖面を覆う
レベル5	厚くマット状にアオコが湖面を覆う
レベル6	アオコがスカム状に湖面を覆い, 腐敗臭がする。

49

## 霞ヶ浦の特徴

- 湖の面積が広く, 水深が浅い湖  
(面積:220km<sup>2</sup> 平均水深:4m)
- 湖の水の滞留日数が約200日と長い
- 流域には約100万人の住民が居住
- 流域の豚の頭数が約29万頭と非常に多い
- 流域の水田, 畑, ハス田の割合が高い  
(流域面積の約37%)
- 流域の山林の割合が低い  
(流域面積の約19%)

50

## 植物プランクトンの削減

### 藻類の増殖に関係するおもな外部要因

- ①光 光合成に必要な光の強さと日照時間
- ②水温 増殖の適温は種類で異なる
- ③窒素・りん濃度 畑の施肥と同じ効果
- ④被食 増える速度と動物に食われる速度とのバランス
- ⑤攪拌(鉛直混合) 風の攪拌は光・栄養・沈降速度を左右する

### 上記要因に対応する増殖抑制策

- ①光の制限(×) : 植生や工作物による遮光。小水域で行われ霞ヶ浦では不可能。
- ②水温調節(×) : 一般の湖沼では不可能。
- ③栄養塩削減(○) : 原理的にどの湖沼でも可能。
- ④被食の増大(×) : ミジンコを増やし魚を減らす。霞ヶ浦では水産と衝突。
- ⑤人工鉛直混合(△) : 深く小さい湖に成功例あり。動力の維持経費が問題。
- ⑥希釈水の導入(△) : 導水だが希釈水の十分な確保と運転経費が課題。

⇒霞ヶ浦では栄養塩削減対策を中心とせざるを得ない

51

## 6期計画の主な対策(生活系)

### 生活排水処理率の向上を図る

西浦 H22 69.7% → H27 80.6%  
北浦 H22 50.6% → H27 69.6%

- 下水道の整備・接続  
公共下水道の整備促進, 経費助成等による接続率向上, 超高度化の推進
- 農業集落排水施設の整備・接続  
4地区における整備, 経費助成等による接続率向上
- 浄化槽等の整備等  
設置経費助成, 広報・戸別訪問等による設置促進, 法定検査受検率の向上

52

## 6期計画の主な対策(畜産系)

- 家畜排せつ物の農外処理・利用  
セメント製造工場での燃料・原料への活用  
簡易高度処理施設による窒素・リンの除去・回収  
畜産汚水の下水道への排水
- 家畜排せつ物の堆肥処理・利用  
堆肥コーディネーターの設置や「たい肥ナビ！」の活用による、良質堆肥の流通促進

53

## 6期計画の主な対策(面源系)

- 化学肥料使用量の削減  
適正施肥の推進(指導, 肥効調整型肥料の普及, 品種に合わせた適正施肥法の開発)  
エコファーマー認定の推進  
化学肥料等の5割削減技術の確立・普及
- 循環かんがい施設の整備  
農業排水を農業用水として循環させることにより, 霞ヶ浦への流出を抑制
- 流出水対策地区における重点的対策の実施  
山王川流域, 鉾田川流域を指定

54

## 6期計画の主な対策(湖内系)

- 生態系の持つ自然浄化機能を活用した浄化  
多自然川づくりの推進, 水生植物帯の造成, ヨシ帯の保全活動の助成
- 流入河川の直接浄化  
ウェットランドの整備
- 漁獲による水質改善  
未利用魚の回収による窒素・リンの取り出し
- 底泥しゅんせつ
- 浄化用水の導入
- 浄化対策に関する調査研究  
水質汚濁メカニズムの調査検討, 情報の共有, 効果的な浄化対策へ反映

55



釜房ダム全景

(1970年完成、貯水池面積3.9km<sup>2</sup>、貯水量3930万m<sup>3</sup>、仙台の水道水として36%利用)

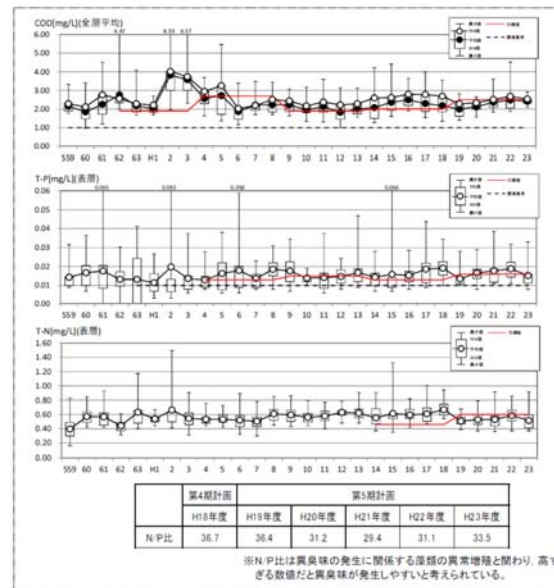
56



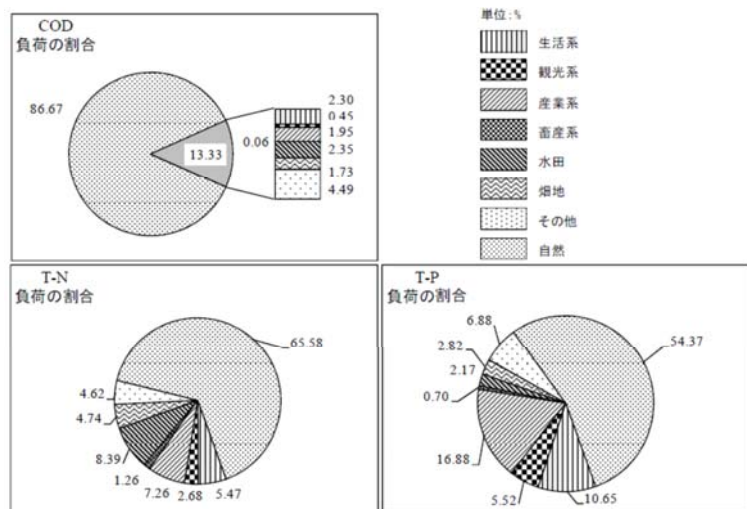
# 釜房ダム(第1期～第6期)の対策概要

第1期 (S62～H3年度)	第2期 (H4～H8年度)	第3期 (H9～H13年度)
公共下水道の整備 合併処理浄化槽設置推進 広域畜産環境対策 側条施肥機導入 空気揚水筒 <sup>バ</sup> イロット実験	公共下水道の整備 合併処理浄化槽設置推進 畜産基地建設 治山 空気揚水筒 <sup>バ</sup> イロット実験	公共下水道の整備 合併処理浄化槽設置推進 畜産基地建設 側条施肥機導入 空気揚水筒 <sup>バ</sup> イロット実験
第4期 (H14～H18年度)	第5期 (H19～H23年度)	
公共下水道の整備 合併処理浄化槽設置推進 畜産既存施設の活用 ばっ気循環の継続 側条施肥機の効果的利用 森林の適正管理	生活排水対策の推進 畜産既存施設の活用 ばっ気循環の継続 側条施肥機の効果的利用 森林の適正管理 流出水対策地区の指定 調査研究の推進	

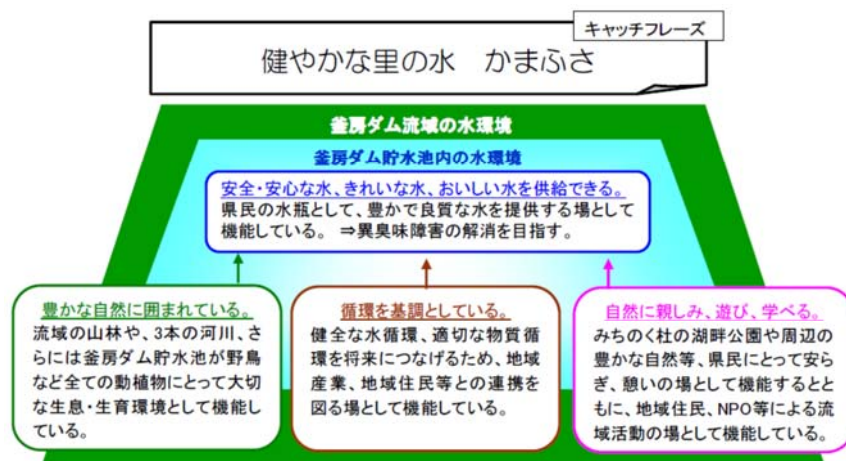
# 釜房ダム貯水池における水質の遷移



# 排出負荷の割合



# 釜房ダム貯水池の長期ビジョン



## 水質保全に資する事業

1. 生活排水処理施設の整備  
(汚水衛生処理率の向上と高度処理の導入)
2. 家畜排泄物処理施設の活用  
(堆肥化の適正管理)
3. ダム貯水池の対策  
(湖水の循環の促進)

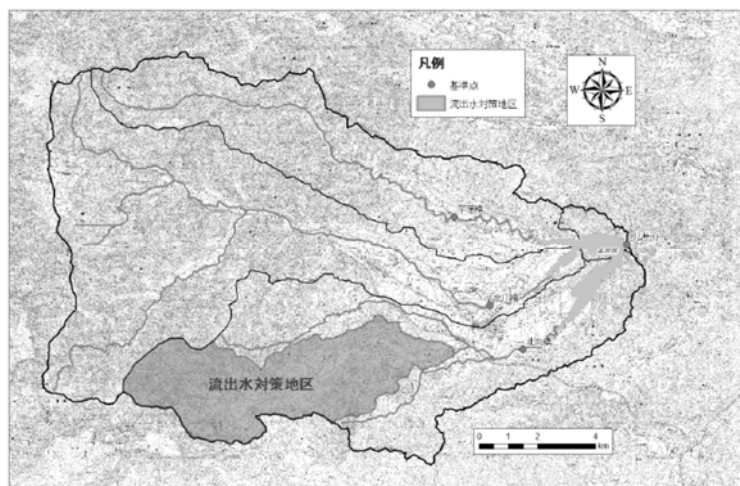
61

## 水質規制のための措置

1. 工場・事業場排水対策
2. 生活排水対策
3. 畜産業に係る汚濁負荷対策
4. 魚類養殖による汚濁負荷対策
5. 流出水対策(農業池、市街地、自然地域)
6. 緑地の保全と湖辺の自然環境の保護
7. 廃棄物の適正処理(不法投棄の防止)

62

## 釜房ダム貯水池における流出水対策地域



63

## 閉鎖性水域修復方法

64

# 長期ビジョンを達成するための水質保全計画

- 生活排水対策の推進**  
下水道への接続促進、浄化槽等の適正な設置及び維持管理の確保、各家屋における生活排水対策を実施します。
- 工場事業排水対策**  
水質汚濁防止法、地表水質保全特別措置法及び公営下水道法に基づき、排水規制対象事業場への立ち入り検査等の監視を行い、排水基準の遵守を図ります。
- 畜産業に係る汚濁負荷対策**  
畜舎排せつ物法や「家畜排せつ物の利用の促進を図るための畜糞利用計画」により、家畜排せつ物の適正な処理を推進します。また、そのために給排水の削減を促進し有効利用を推進します。
- 畜産施設に係る汚濁負荷対策**  
施設管理方法の改善や水質浄化施設の設置等の汚濁負荷対策の可能性について、関係業者や関係機関と連携して検討していきます。
- 流出水対策の推進**  
多くの農業者等の協力のもと、関係にやさしい農業を推進します。また、地域住民等の協力を得ながら、道路路肩や地帯等の清掃を実施します。森林整備の実施により、土壌流出と汚濁負荷の削減を図ります。
- 緑地の保全その他周辺の自然環境の保護**  
地域の緑地の保全や自然環境の保護に努めます。
- 廃棄物の適正処理**  
環境の悪化を未然に防止するため、廃棄物の不法投棄及び不適正処理の防止に努めます。

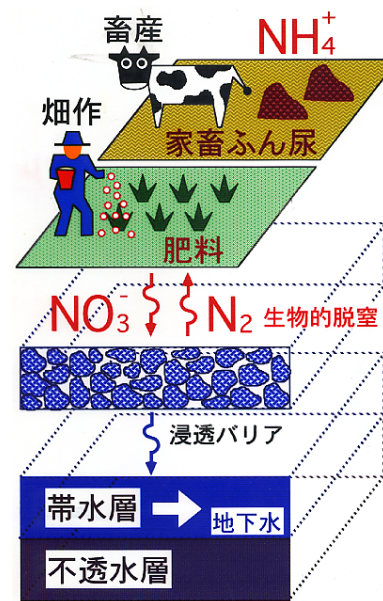


# 湖沼再生の課題

1. 流域管理、特に土地利用の制限
2. 窒素およびリンの効果的な除去
3. 面源負荷対策、特に市街地排水、農業排水
4. 小規模事業場対策
5. 水辺帯(エコトーン)の修復
6. 自然浄化機能、自然エネルギーの活用
7. 住民参加

霞ヶ浦富栄養化防止条例による窒素・リンの上乗せ排水基準

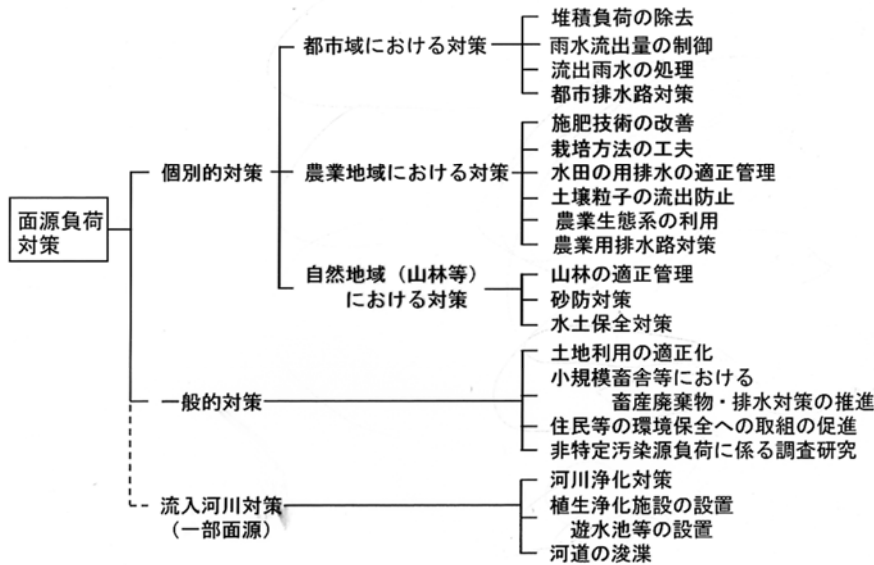
区分	項目及び許容限度		窒素	りん
	1日の平均的な排出水の量			
製造業	食料品製造業	10m3以上20m3未満	45	6
		20m3以上50m3未満	20	2
		50m3以上500m3未満	15	1.5
		500m3以上	10	1
	金属製品製造業	10m3以上20m3未満	45	6
		20m3以上50m3未満	20	2
		50m3以上500m3未満	15	1
	上記以外の製造業	500m3以上	10	0.5
		10m3以上20m3未満	45	6
		20m3以上50m3未満	12	1
畜産農業	50m3以上500m3未満	10	0.5	
	500m3以上	8	0.5	
	10m3以上20m3未満	45	6	
	20m3以上50m3未満	25	3	
その他の業種等	下水道終末処理施設	50m3以上500m3未満	15	2
		500m3以上	10	1
		10m3以上20m3未満	45	6
		20m3以上100,000m3未満	20	1
	し尿処理施設	100,000m3以上	15	0.5
		10m3以上20m3未満	45	6
		20m3以上	10	1
	し尿浄化槽	10m3以上20m3未満	45	6
		20m3以上	15	2
		10m3以上20m3未満	45	6
上記以外の事業場	20m3以上50m3未満	20	3	
	50m3以上500m3未満	15	2	
	500m3以上	10	1	



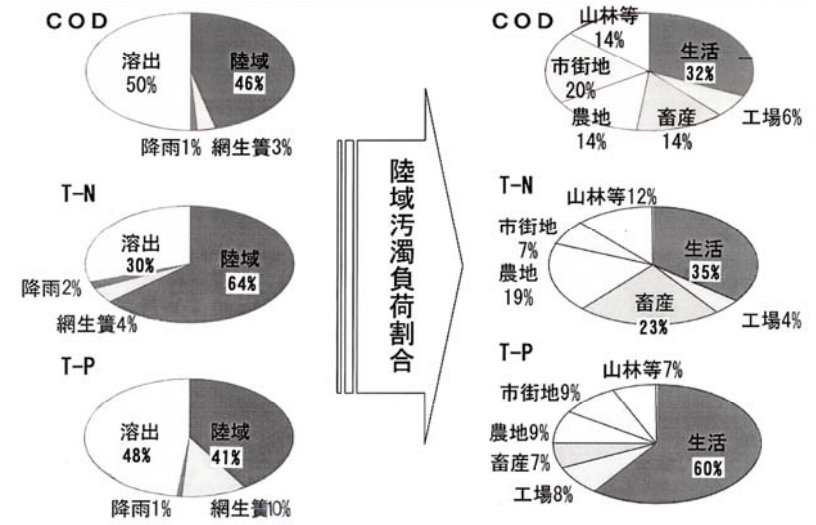
地中遮断処理法



非特定汚濁源（面源負荷）対策の一例



霞ヶ浦における汚濁負荷の割合の現状



ダム貯水池、湖沼の  
これからの水環境保全

湖沼環境基準の見直し

1. 追加項目
  - 1) 底層のDO
  - 2) 透明度
  - 3) TOC、クロロフィルa(補助項目)
  - 4) 大腸菌あるいはふん便性大腸菌群
2. 有機汚濁指標(COD)と水利用目的
 

AA 2mg/L、A 3mg/L、B 5mg/L、C 8mg/L

B 水道3級
3. 測定頻度と代表値のとり方
 

年平均値、75%値

## 【これからの生活排水処理対策】

1. 小規模・分散・自立型の構築
2. 生態工学の導入
3. 窒素およびリンの効率的な除去
4. 汚泥の円滑なリサイクル
5. 面整備の推進
6. 自然エネルギーの活用
7. 未利用資源の活用
8. 維持管理への住民参加

73

## 下水道の当面の課題

1. 窒素およびリンの除去  
(T-N  $10\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  以下、T-P  $1\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  以下)
2. CODの除去  
( $10\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  以下)
3. 汚泥の資源化  
(リンの回収：リサイクル)
4. 市街地排水対策  
(貯留・処理)
5. 処理プロセスのコントロール  
(汚泥の減量化、活性汚泥の安定化)
6. 微量汚染物質・病原微生物への対応  
(環境ホルモン、ウイルス、原虫)

74

## 下水道の将来の課題

1. 処理施設のビオトープ化
2. 生活排水処理の一元化
3. 下水・汚泥の循環利用
4. 小規模分散型処理の促進
5. 維持管理の容易化・自動化
6. 下水処理システムの見直し

75

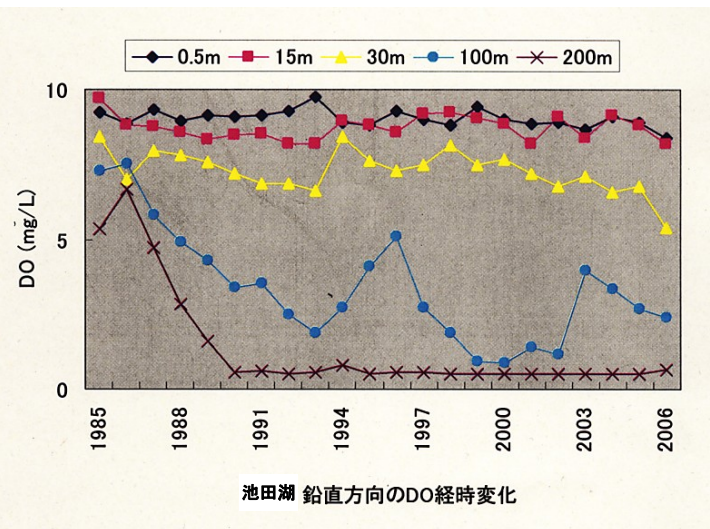
## 排水規制のあり方

1. 面源負荷への対応
2. 環境基準と排水基準とは別の項目
3. 地域特性に応じた排水基準
4. 一律基準の改正
5. 総量規制の強化
6. 小規模排水対策
7. 未規制事業場の解消
8. 生活雑排水の未処理放流の解消
9. 排出者の意識啓発
10. 経済的措置の導入
11. 生活排水と事業場排水の混合処理
12. 窒素・リン対策の強化
13. 単独処理浄化槽の合併化と窒素・リン除去型浄化槽の普及

76

# 地球温暖化の水環境への影響

1. 水温の上昇(冷水性生物への影響)
2. 植物プランクトンの増殖(赤潮、アオコ)
3. 底層DOの貧酸素化、無酸素化
4. 成層化の長期化(底質からのN、P等の回帰)
5. 外来種の侵入
6. 水質の低下(透明度の低下、難分解性物質の蓄積等)
7. 海洋の酸性化(骨格をつくる生物への影響)
8. 洪水の増加
9. 濁水の増加
10. 水循環の不健全化
11. 海面上昇と地下水の塩水化



# 想定されるコベネフィット対象分野

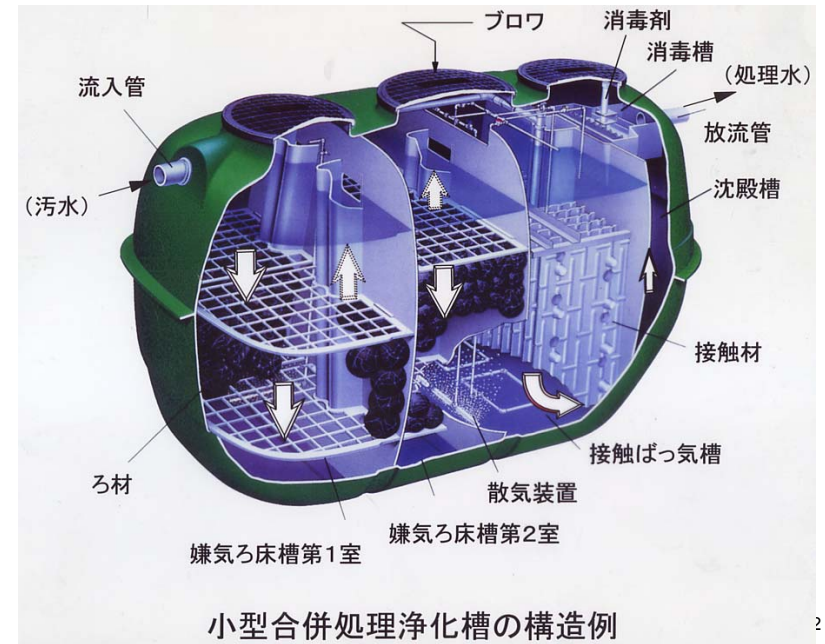
コベネフィット対象分野	対策活動	環境改善便益	温暖化対策便益
大気汚染	燃焼の改善	大気汚染物質(SO <sub>x</sub> 、NO <sub>x</sub> 、煤塵)の減少	CO <sub>2</sub> 排出削減
	燃料転換	大気汚染物質(SO <sub>x</sub> 、NO <sub>x</sub> 、煤塵)の減少	CO <sub>2</sub> 排出削減
	交通対策	大気汚染物質(SO <sub>x</sub> 、NO <sub>x</sub> 、煤塵)の減少	CO <sub>2</sub> 排出削減
水質汚濁	河川のヘドロ等からのメタン発生防止	水質改善、悪臭防止	CH <sub>4</sub> (メタン)排出削減
廃棄物	適切な生ゴミ埋立	廃棄物の適正処理	CH <sub>4</sub> (メタン)排出削減
	バイオマス廃棄物活用	廃棄物の減量	CH <sub>4</sub> (メタン)排出削減



## 主要な水域の直接浄化技術 (特にわが国の優れたもの)

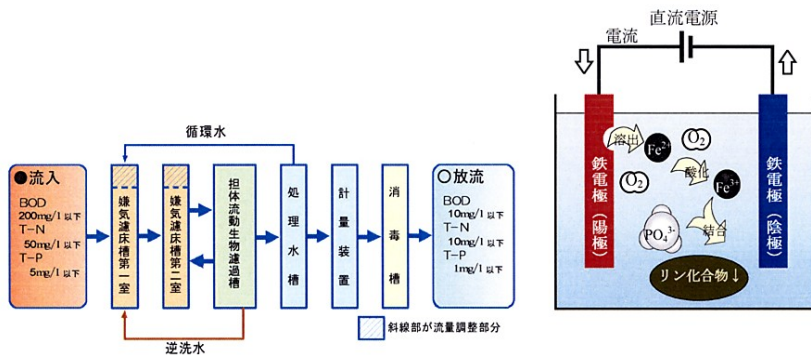
1. 礫間接触法
2. 植栽浄化法
3. 水路浄化法
4. ろ過法  
(プラスチック、土壌、セラミック等)
5. ばっ気法
6. 底泥浚渫
7. アオコ・赤潮の回収

81



2

## CRX型のフローシートとリン除去のしくみ



83

## 湖沼研究の課題の一例

1. 湖沼生態系におよぼす温暖化の影響
2. 気候変動による適応対策
3. 生物多様性と外来種
4. 流域負荷量の変動
5. 非特定汚濁発生源の削減
6. 底質の変動と汚濁物質の蓄積
7. 環境基準と水質目標
8. アオコと流入河川対策

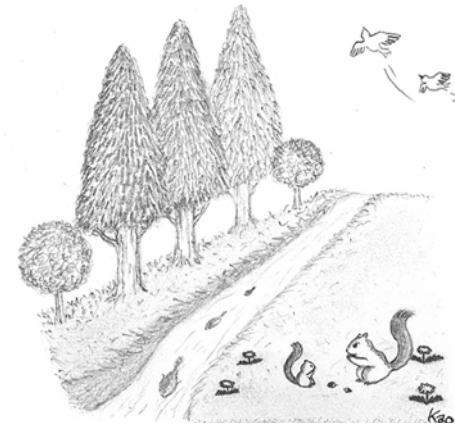
84

## まとめ

1. 閉鎖性水域の富栄養化の進行は早い、回復には長時間を要し、費用も甚大である。
2. 湖沼水質保全特別措置法は計画としては優れているが、目的達成が不十分であるので、強化されるべきである。
3. 閉鎖性水域の修復手法は多数あるが、水域の特性に応じた手法の選択と組合せが重要である。
4. 水環境保全には気候変動(地球温暖化)の影響を強く受けるので、導入される技術はコベネフィット型とし、わが国全体として低炭素社会の構築を計る必要がある。

85

ご静聴ありがとうございました



私たちをもっと大切にして

86