

第 5 章 湖沼水質の保全・改善対策

5.1 湖沼水質の保全・改善対策方法

5.1.1 湖沼水質の保全・改善対策の検討

現状の湖沼では、基本的に水質問題（課題）が先行しており、水質問題の顕在化に応じて施策が検討されている。また、湖沼水質保全特別措置法による指定湖沼では、湖沼水質保全計画の策定・見直しにあわせて解析技術を用いた検討や水質目標の設定が行われ、その計画に基づいて施策が実施されている。

ここで、湖沼における課題の発生を受けての施策の策定手順は以下のとおりと考えられる。

1. 課題（水質問題）の発生
2. 現象メカニズムの解明（湖沼の状態と問題の関連性の分析）
3. 水質目標の設定
4. 水質改善対策の実施（検討）

この施策の流れをより一般化すると、図 5.1.1 に示すようなフローになると考えられる。

図中に示すように、全ての湖沼において全段階を実施する必要はなく、監視段階、あるいは現象解明段階（原因調査など）で施策の流れが終了する場合もあると考えられる。

このフローのどこで工程を終了するか判断は、アカウンタビリティの重要性（湖沼の水質レベルと密接に関係があると考えられる）や、その後に対策を実施する見込みがあるかどうかなど、個々の湖沼ごとに状況に応じた判断が必要となる。

なお、図中には、湖沼における施策実施の各段階で、本書のどの章を参照すればよいかを併記している（斜体・下線文字）。

また、このような水質目標の設定、解析技術を用いた検討、水質保全対策の検討のつながりが明確な事例として、網走湖の例を図 5.1.2 に示す。

5.1 湖沼水質の保全・改善対策方法

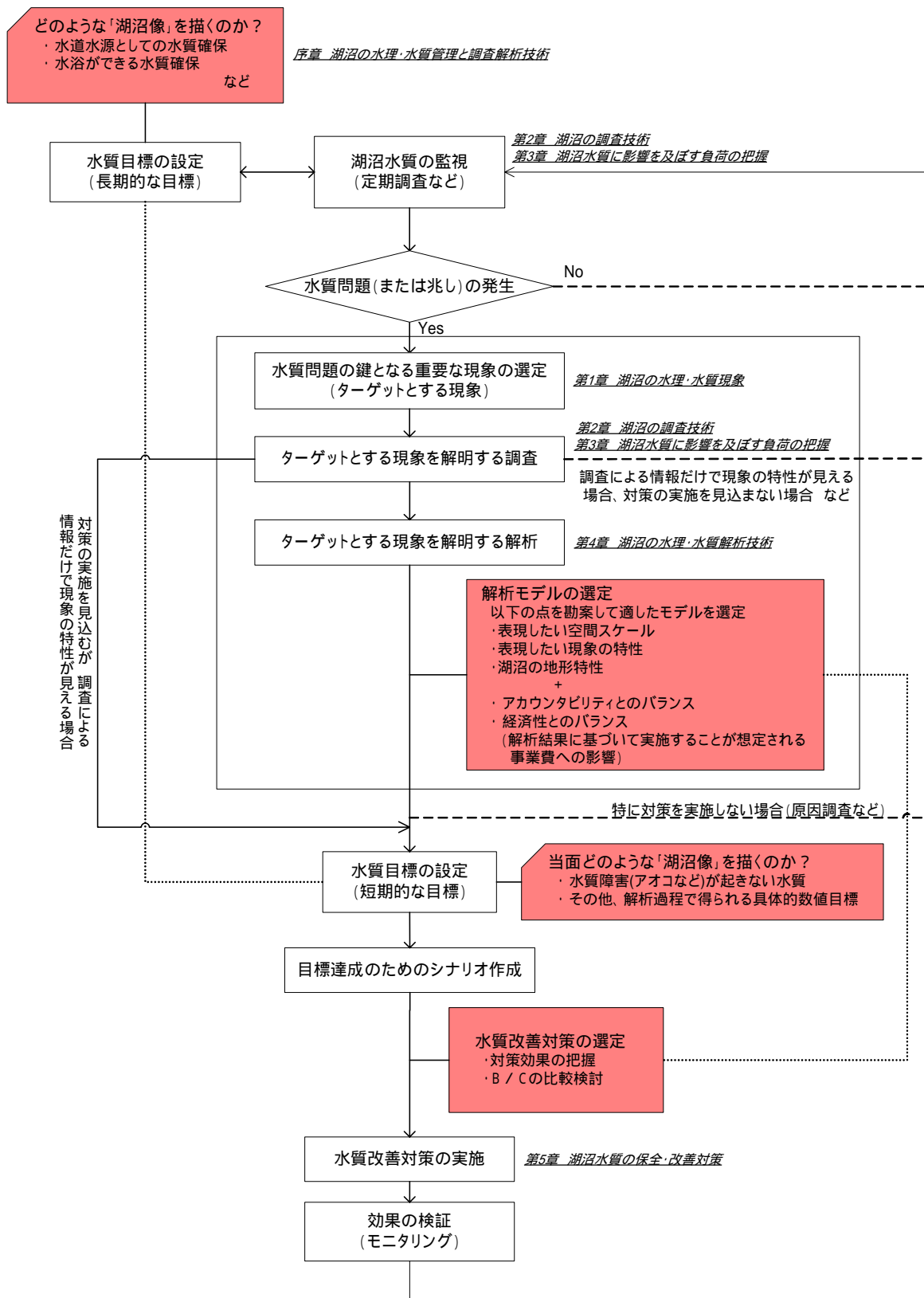


図 5.1.1 湖沼管理施策の流れ

5.1 湖沼水質の保全・改善対策方法

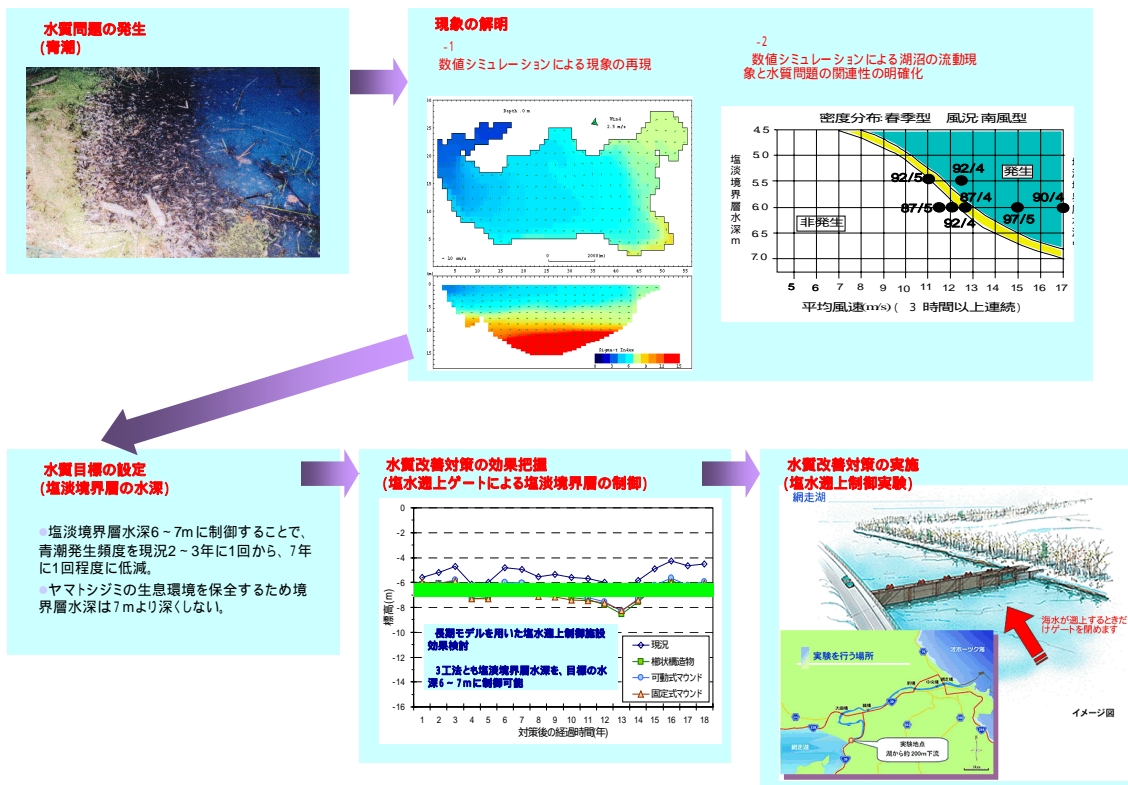


図 5.1.2 網走湖における湖沼管理施策の流れ (青潮に関連した施策)

湖沼の水質保全対策の検討にあたっては、まず、湖沼水質の大まかな性格を把握し、対策の方向性を見いだすことが最優先課題である。湖沼水質の性格に影響を及ぼす要因としては、位置、湖盆形状、面積、滞留時間等が挙げられるが、最も支配的な要因は湖沼での窒素、リンの物質収支である。窒素、リンに着目した物質収支の概念図 (主な流れ) を図 5.1.3 に示す。

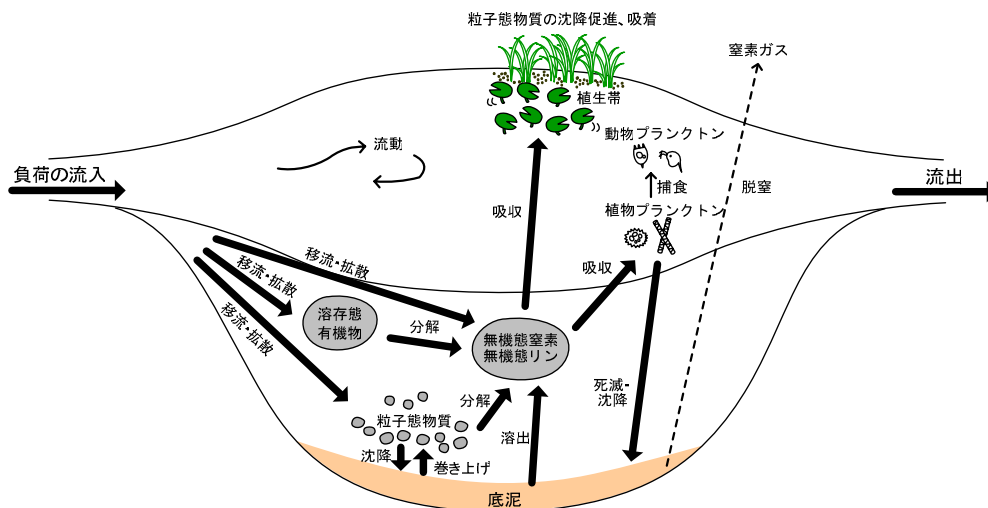


図 5.1.3 湖沼の水質特性概念図 (窒素、リンに着目)

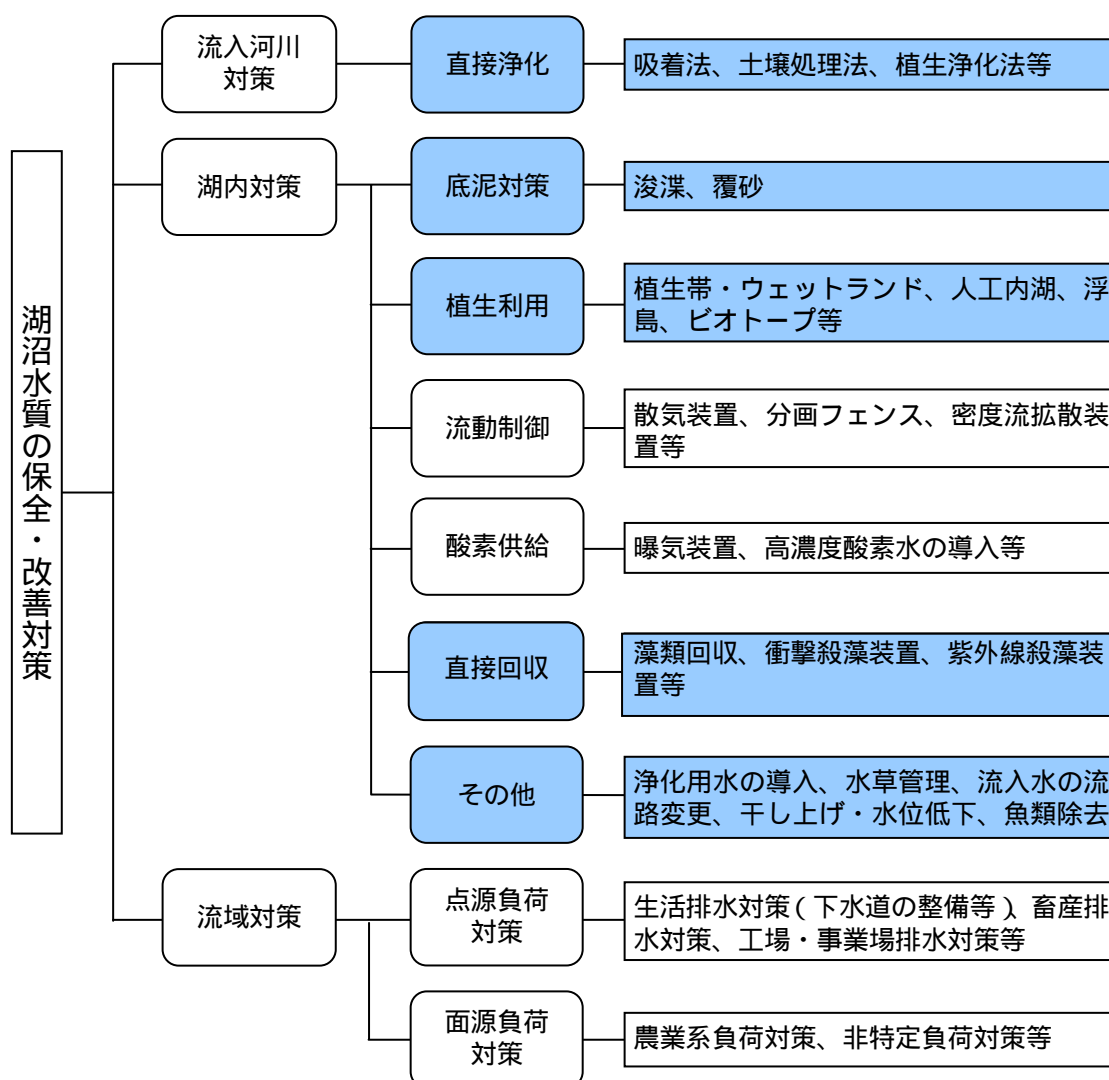
湖沼での物質収支を検討し、流域から湖沼へ流入する流域負荷 (外部負荷)、湖内での溶出や一次生産による内部負荷のどのような要因が湖沼の富栄養化の主要因となっているかを把握し、要因に応じた対策を選定、実施していく必要がある。

5.1.2 湖沼水質の保全・改善対策方法の分類

湖沼の富栄養化は、流入河川から湖内に流入する有機物や栄養塩類、底泥からの溶出する有機物や栄養塩類、およびそれらを利用した湖沼内での植物プランクトンの増殖などのさまざまな要因により引き起こされる。このため、湖沼水質の保全・改善対策を検討するにあたっては、富栄養化をもたらしている個々の要因を考慮する必要がある。

湖沼水質の保全・改善対策方法を、その実施場所およびそのメカニズムにより分類し、図5.1.4に示す。

湖沼水質の保全・改善対策方法には、流入河川対策として直接浄化、湖内対策として底泥対策、植生利用、流動制御、酸素供給、直接回収及びその他の対策（浄化用水の導入等）、流域対策として点源負荷対策及び面源負荷対策がある。



■ : 今回とりまとめ対象とした湖沼で河川管理者により行われている対策

図 5.1.4 湖沼水質の保全・改善対策方法の分類

5.1.3 湖沼水質の保全・改善対策方法の概要

前節で述べたように、湖沼水質の保全・改善対策方法には、流入河川対策、湖内対策及び流域対策に分類できる。

本節では、これらのうち、今回とりまとめ対象とした湖沼において実施されている流入河川対策及び湖内対策についてその概要を述べる。

(1) 直接浄化（流入河川対策）

流域で発生した汚濁負荷は、河川を経て湖沼に流入し、湖沼の水質に影響を及ぼしている。したがって、河川内で汚濁負荷を除去できれば、湖沼水質の保全・改善に効果があると考えられる。流入河川対策は、このような観点から、河川水を直接浄化する方法である。

具体的な河川水の水質浄化手法としては、吸着法、土壌処理法、植生浄化法等、さまざまなメカニズムによる手法が採用されている。

SSの除去率が高い手法が多く、植生浄化法では自然植生をそのまま利用することが可能である。一方で、吸着法のうち接触酸化法等では窒素、りんの除去率が低い。また、植生浄化法及び土壌浄化法では広い面積が必要となることが多い。

直接浄化では、浄化装置の運転や汚泥処理器材の交換等のランニングコストがかかるため、その低減が課題となっている。

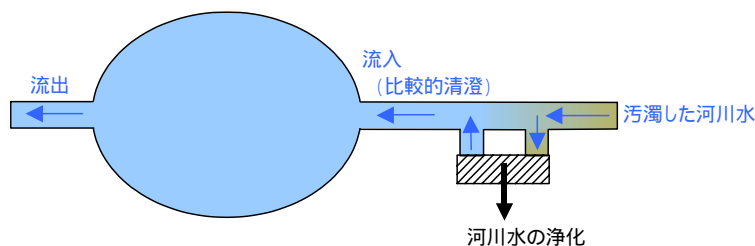


図 5.1.5 流入河川対策による湖沼水質の保全・改善対策のイメージ

(2) 底泥対策

1) 浚渫

湖底に堆積した土砂・ヘドロ等の底泥を浚渫船およびポンプ等によって機械的に回収・除去する手法である。これにより、底泥から水中への栄養塩等の溶出の抑制が可能である。

ただし、再堆積等により効果が低下することとなるため、効果を継続させるためには流入負荷量の削減等により栄養塩の再堆積を抑制する必要がある。

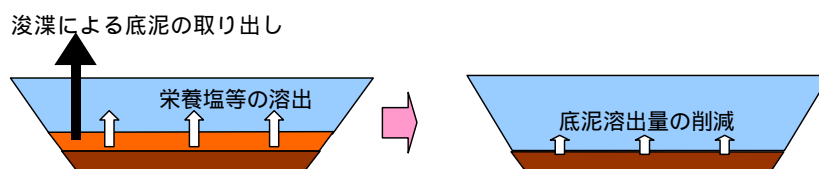


図 5.1.6 浚渫による湖沼水質の保全・改善対策のイメージ

2) 覆砂

湖底に堆積した土砂・ヘドロ等の底泥を砂で覆う手法である。これにより、底泥から水中への栄養塩等の溶出の抑制が可能である。なお、大量の覆砂材を必要とするが、覆砂材の調達が必ずしも容易ではないことを考慮する必要がある。

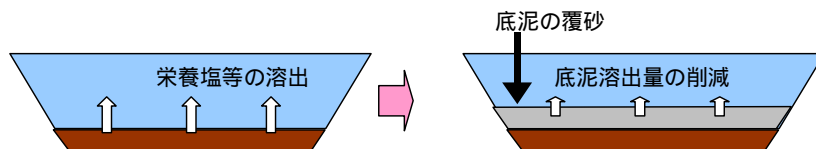


図 5.1.7 覆砂による湖沼水質の保全・改善対策のイメージ

底泥対策を行うことで、底泥から水中への栄養塩などの溶出の抑制が可能となる。しかし、底泥に対する根本的な対策とはならないため、効果を持続させるためには、モニタリングを行い必要に応じて継続的な対策の実施が必要と考えられる。また、底泥の有効利用や処分の方法を検討する必要がある。なお、回収された底泥の配土や再利用にあたっては、底泥に含まれる重金属の濃度に留意する必要がある。

(3) 植生利用

1) 植生帯・ウェットランドの整備

湖岸の浅い水域に植生帯・ウェットランドを整備する手法である。植生帯・ウェットランドを整備では、植生による直接的な作用（浮遊懸濁物(SS)の水生植物等への吸着作用、植生による窒素やリンの吸収、植生による日光の遮蔽作用）及び植生の存在により促進される作用（濁りの沈殿の促進、微生物による分解、硝化及び脱窒作用の促進、土壌透水性の向上、土壌による過作用の促進）により、湖水の水質を改善できる。

SSのほかに窒素及びリンの吸収除去も期待できる。そのためには、植物が枯死する前に刈り取る必要がある。植生帯・ウェットランドの整備では広い面積が必要となることが多い。

写真 5.1.1 植生帯・ウェットランドの整備状況³⁾

2) 人工内湖の整備

人工内湖の整備は、湖沼沿岸の流入河川流入部に「内湖（小さな湖沼や池）」を整備する手法である。これにより、流入河川の負荷を削減すると同時に沿岸体の生態系機能を向上させることができる。この手法は、懸濁性物質の沈降が主な浄化機構である。

人工内湖は、特に出水時におけるSSやリンの除去率が高いものの、人工内湖に堆積する底泥を数年に一度程度除去する必要がある。

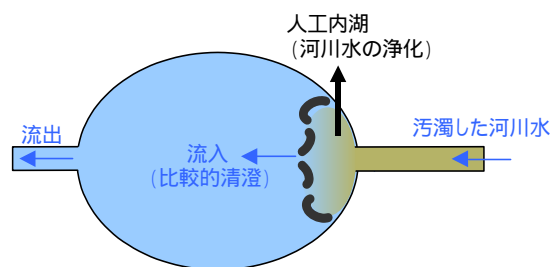


図 5.1.8 流入河川対策による湖沼水質の保全・改善対策のイメージ

(4) その他

1) 浄化用水の導入

浄化用水の導入は、湖沼に比較して清澄な水（近傍の河川水など）を湖沼に人工的に導入する手法である。これにより、希釈により湖沼水の水質を改善することができる。また、浄化用水の導入により、湖沼の回転率が上がり、藻類による一次生産の抑制も期待できる。

浄化用水の導入は、水源の確保が可能な河川においてのみ実施可能な手法である。湯水の場合、浄化用水の水量が減少、停止するなど、導水量は流況に依存する。また、導水により、放流口付近の底泥巻き上げを招く恐れがある。取水施設、導水施設の建設費と取水施設の運転コストが必要となるほか、浄化用水の導入により生態系が変化する可能性もある。しかし、条件が整えば確実に水質改善がなされる。

浄化揚水の導入による負荷の流下経路が変化するため、水系内（あるいは導水元河川の水系も含めて）での流況や負荷量の分布が変化する場合があるため、注意を要する。

また、浄化用水は負荷量の削減対策ではないため抜本的な対策とはならない。

2) 水草管理

水草管理は、水草（植物体）を刈り取り、水草に含まれる有機物を系外に持ち出す手法である。これにより、枯死した植物体を湖内に堆積させることなく、枯死植物からの溶出を回避することが可能となる。

枯死した植物体から水中へ栄養塩などが溶出することを抑制できる。しかし、根本的な対策とはならないため、効果を持続させるためには継続的な対策の実施が必要と考えられる。なお、効果的に有機物を持ち出すために、刈り取り時期を十分に検討する必要がある。また、生物の生息環境の保全の面から、生物の生息サイクルも踏まえて実施する必要がある。例えば、水草は全面刈り取らない方が良く、また、次年度の水草の生育のために、根元を一部残して刈り取る方が良いとされている。

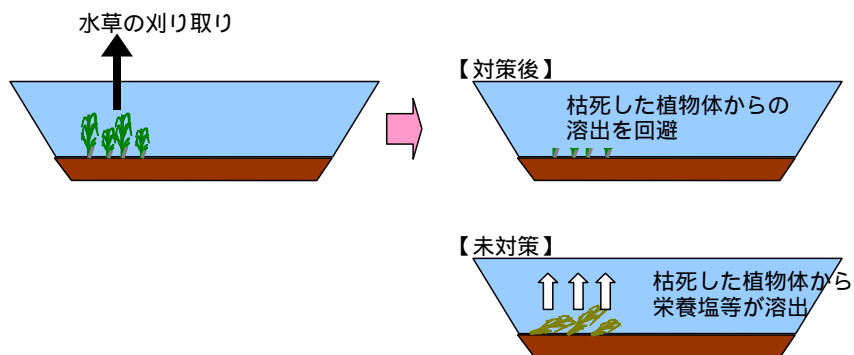


図 5.1.9 水草管理による湖沼水質の保全・改善対策のイメージ

5.2 代表的な湖沼における湖沼水質の保全・改善対策方法

代表的な湖沼でこれまでに実施された保全対策について、期待される水質改善のメカニズム、現在の湖内水質保全対策の具体的内容、見込まれる改善効果量を、対策の種類ごとに横並びに比較整理した。その結果を次ページ以降に示す。

表 5.2.1(1) 各湖沼においてこれまでに実施されてきた保全対策（直接浄化）

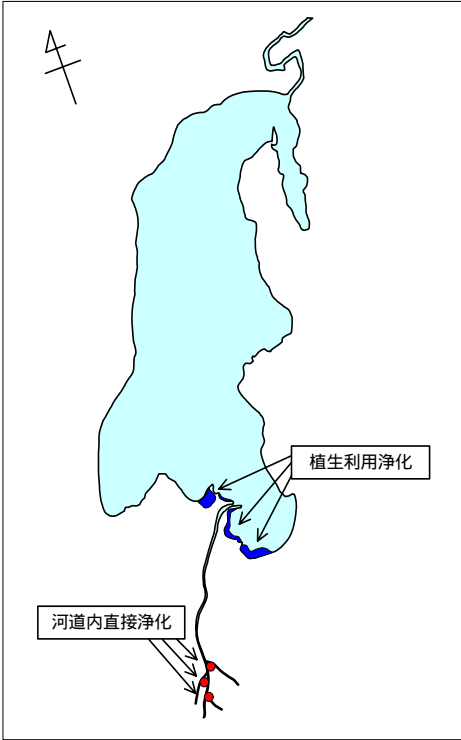
直接浄化（流入河川対策）		
湖内水質保全対策	網走湖（河道内直接浄化）	網走湖（植生利用浄化）
期待される水質改善のメカニズム	網走川本川等に直接流入する河水の水質改善を図る。	網走川本川等の流入量の一部取水し、植生利用浄化施設を経由してから湖内に導入することで、流入河川の水質改善を図る。
現在の湖内水質保全対策の具体的内容	H7～H14年までの施設数：3施設（試験施設） 計画施設数：3施設 （設置済みの試験施設を改良して稼働）	H12～H14年までの施設面積：7.2ha 計画施設面積：20ha （H14年度までの施設面積を含む）
		
見込まれる改善効果量	河道内直接処理による負荷削減量：T-P 0.1kg/日 負荷削減量は現地調査結果より求めた浄化率を使用し算出した値	植生利用浄化による負荷削減量：T-P 0.8kg/日 負荷削減量は現地調査結果より求めた浄化率を使用し算出した値

表 5.2.1(2) 各湖沼においてこれまでに実施されてきた保全対策（直接浄化）

		直接浄化（流入河川対策）	
湖内水質保全対策	霞ヶ浦（植生浄化）	霞ヶ浦（堤脚水路浄化）	
期待される水質改善のメカニズム	植物体による栄養塩の吸収等	堤脚水路内の汚濁水を浄化し湖に流し、水質浄化を図る 滞留している水路内を水を循環させ嫌気化を防ぐ 植物による水質浄化	
現在の湖内水質保全対策の具体的内容	<p>山王川植生浄化実験施設 S63 年度完成 90m² × 9 槽 実験施設として設置（H18 年度で終了）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・（～H13）表面流れ方式、ヨシ・杉イロイ・材ガサ・マコモ等 ・（H14～）浸透流れ方式、ヨシ・飼料稲等 <p>清明川植生浄化施設 H3 年度から造成開始、H8 年度全 19 エット供用開始 面積 3.8ha ヨシ</p> <p>山田川植生浄化施設 H9～13 年完成 面積：約 10,000m² 延長：約 200m 水深：約 0.2m</p>	<p>木原堤脚水路浄化施設 平成 16 年完成 延長：940m</p> <p>堀境堤脚水路浄化施設 平成 12 年完成 延長：450m</p> <p>大須賀津堤脚水路浄化施設 平成 12 年完成 延長：610m</p>	
	見込まれる改善効果量	<p>T-P, T-N の除去率 約 90～95%（浸透流れ方式，黒ボク土）</p> <p>除去率 COD 8.8%, T-N 11.6%, T-P 16.8%（H13～H17 年度の平均値）</p> <p>データなし</p>	<p>除去率 COD 21%, T-N 66%, T-P 45%（H15）</p> <p>除去率 T-N 20%, T-P 31%（H15）</p> <p>除去率 COD 15%, T-N 29%, T-P 38%（H15）</p>

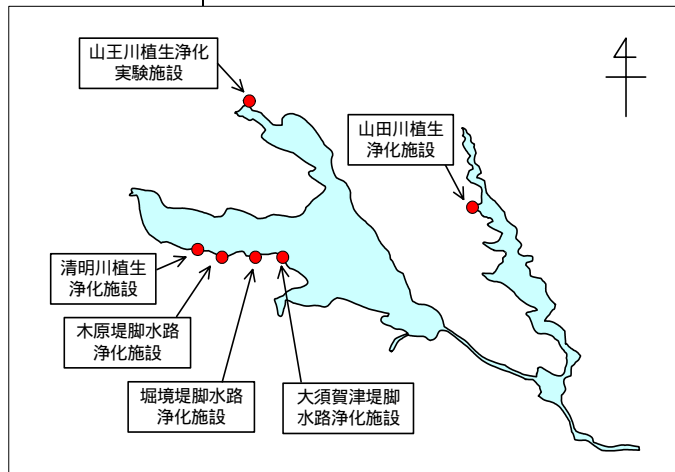


表 5.2.2(1) 各湖沼においてこれまでに実施されてきた保全対策（内部負荷削減：浚渫）

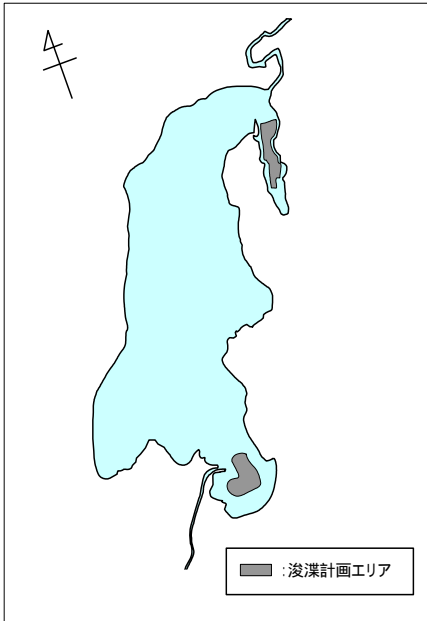
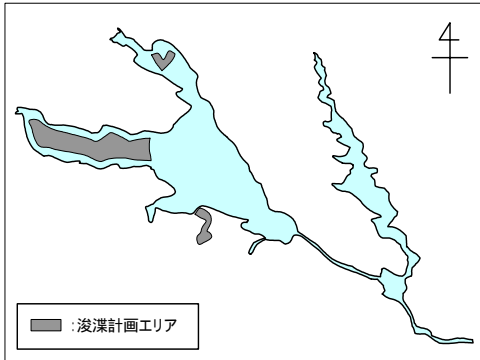
	内部負荷削減：浚渫	
湖内水質保全対策	網走湖	霞ヶ浦
期待される水質改善のメカニズム	底泥から溶出する汚濁負荷を削減し、湖内閉鎖性水域の水質改善を図る。	底泥溶出負荷の削減 栄養塩含有量が高い底泥上層の30cm層を浚渫 底泥溶出負荷と河川流入負荷は同程度（H10年負荷量収支の試算結果）
現在の湖内水質保全対策の具体的な内容	<p>浚渫量：19.7万 m³（H5～H14）</p> <p>計画浚渫量：70万 m³ （H14年度までの浚渫量を含む）</p> 	<p>浚渫量：672万 m³（S50～H16年度）</p> <p>計画浚渫量：800万 m³（H22年度予定）</p> 
見込まれる改善効果量	<p>計画浚渫量による負荷削減量： T-P 16.7kg/日</p> <p>負荷削減量は現地調査結果より求めた負荷削減率を使用し算出した値</p>	<p>平成3年～平成12年の10年間の流況をもとにした試算（H15年度実施）では、西浦のCODの10ヶ年平均値を0.6mg/L低減させる効果が得られた。</p>

表 5.2.2(2) 各湖沼においてこれまでに実施されてきた保全対策（内部負荷削減：浚渫）

内部負荷削減：浚渫		
湖内水質保全対策	琵琶湖（赤野井湾）	琵琶湖（中間水路）
期待される水質改善のメカニズム	各種水質保全対策と連携しつつ底泥からの溶出負荷が大きい同水域において、溶出量の削減を図りアオコの発生を抑制する等湾内の水質改善を図る。	各種水質保全対策と連携しつつ底泥からの溶出負荷が大きい同水域において、溶出量の削減を図りアオコの発生を抑制する等水質改善を図る。
現在の湖内水質保全対策の具体的内容	事業主体：滋賀県 事業期間：平成 10～15 年度 事業面積：約 108ha(実績約 63.4ha) 浚渫厚：0.3～0.6m 浚渫量：合計 22 万 m ³ (H10～15 年度実績)	事業主体：国交省、滋賀県 事業期間：平成 7～11 年度(滋賀県) 平成 9～11 年度(国交省) 事業面積： 滋賀県分 38ha(実績 18.9ha) 国交省分 16ha(実績 8.4ha) 浚渫量：合計 8.2 万 m ³ (H7～11 年度実績)
見込まれる改善効果量	栄養塩削減目標（全体計画値） T-N：12.96 kg / 日 T-P：0.92 kg / 日	栄養塩削減目標（計画値） T-N：9.5kg / 日 T-P：0.61 kg / 日

表 5.2.2(3) 各湖沼においてこれまでに実施されてきた保全対策（内部負荷削減：浚渫）

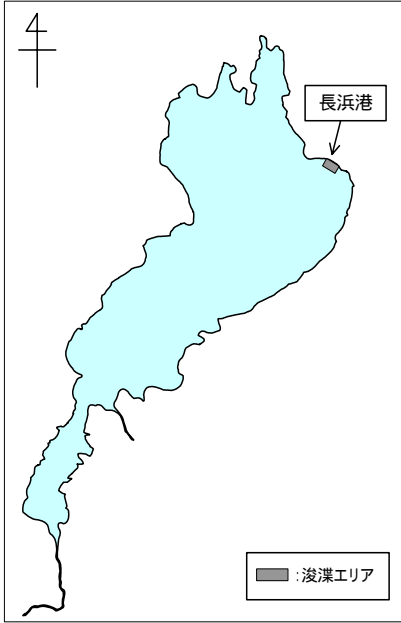

内部負荷削減：浚渫		
湖内水質保全対策	琵琶湖（長浜港）	中海
期待される水質改善のメカニズム	流域対策と連携を図りつつ港内の水質に影響を与えている底泥を除去し、アオコが発生しないよう水質の改善を図る。	最も閉鎖的で水質の悪い米子湾の水質改善を目指して、黒色汚泥の除去を図る。
現在の湖内水質保全対策の具体的内容	<p>事業主体：滋賀県 事業期間：平成 14～17 年度 事業面積：約 4.8ha（計画値） 浚渫厚：0.3～0.6m 浚渫量：合計 1.9 万 m³ （H14～17 年度実績）</p> 	<p>事業期間：昭和 52 年～平成 12 年 浚渫量：100 万 m³</p> 
見込まれる改善効果量	<p>目標水質：アオコが発生しない水質 T-N：0.39mg/L T-P：0.022mg/L</p>	・不明

表 5.2.3 各湖沼においてこれまでに実施されてきた保全対策（内部負荷削減：覆砂）

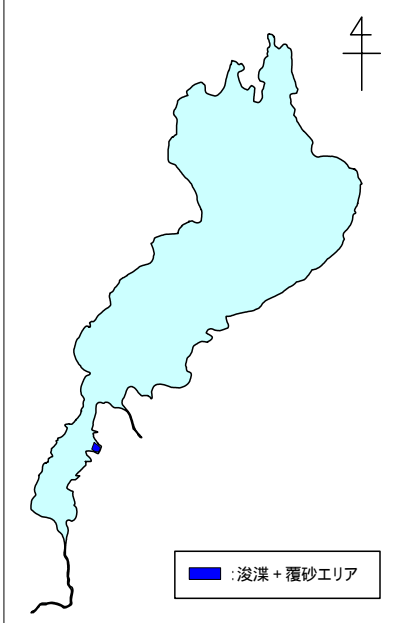
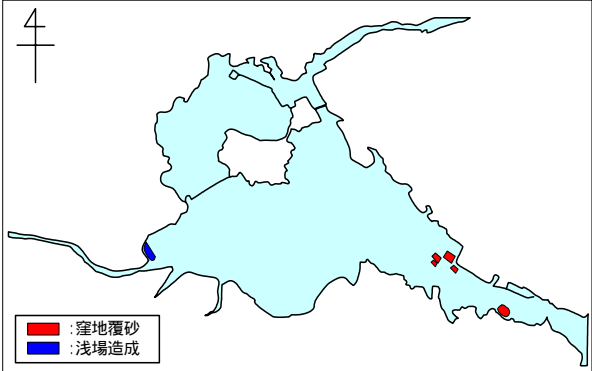
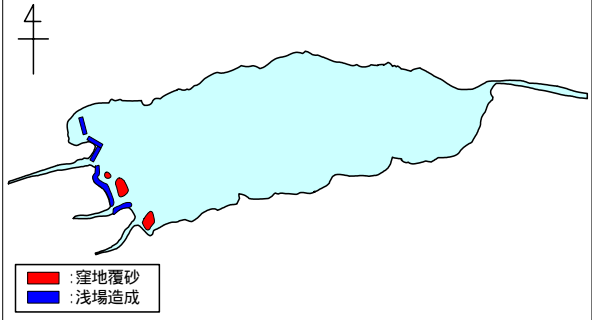
内部負荷削減：覆砂		
湖内水質保全対策	琵琶湖	中海・穴道湖
期待される水質改善のメカニズム	底泥が及ぼす湾内水質への影響が大きいことから、浚渫+覆砂により底泥からの栄養塩の溶出量を削減し、アオコ発生抑制等、漁場環境の改善を図る。	底泥の溶出を抑制する。
現在の湖内水質保全対策の具体的な内容	<p>事業主体：滋賀県 （漁場改善事業として実施）</p> <p>事業期間：平成4～8年度 事業面積：約18ha 覆砂厚：0.2m</p>  <p>■：浚渫+覆砂エリア</p>	<p>中海</p> <p>対象水域：窪地・沿岸域 事業期間：窪地 平成12年～15年 沿岸域 平成16年 事業規模：面積 30ha 体積 13.7万m³</p>  <p>■：窪地覆砂 ■：浅場造成</p> <p>穴道湖</p> <p>対象水域：窪地 事業期間：平成12年～15年 事業規模：面積 36ha 体積 27.6万m³</p>  <p>■：窪地覆砂 ■：浅場造成</p>
見込まれる改善効果量	・ 不明	底泥の溶出削減率（実績） COD：44.1% T-N：44.0% T-P：68.7%

表 5.2.4 各湖沼においてこれまでに実施されてきた保全対策（内部負荷削減：水草刈り取り）

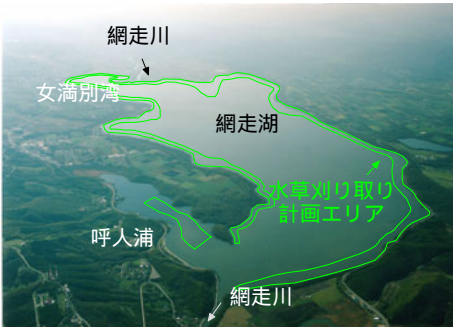
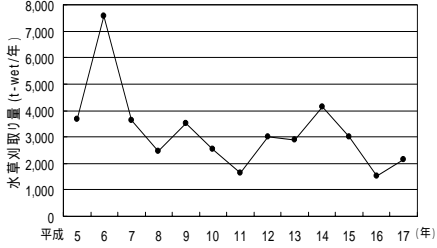
内部負荷削減：水草刈り取り																														
湖内水質保全対策	網走湖	琵琶湖																												
期待される水質改善のメカニズム	水草枯死により溶出する、汚濁負荷を抑制する。 枯死した水草の沈降による底質の悪化を防止する。	主として異臭の発生、景観の悪化、船舶航行上の対策として実施。 結果として、水草に含まれる栄養塩の除去が期待できる。																												
現在の湖内水質保全対策の具体的内容	<p>H5～H14までの刈り取り面積：約30ha/年 (累計面積250ha) 計画刈り取り面積：50ha/年</p> 	<p>事業主体：滋賀県 事業期間：平成5年以降毎年実施 (概ね7～11月の時期を対象) 水草刈取り実績：下図のとおり。</p>  <p>水草刈取り量の推移</p> <table border="1"> <caption>水草刈取り量の推移 (推定値)</caption> <thead> <tr> <th>年</th> <th>水草刈取り量 (t-veg/年)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>平成5</td><td>3,800</td></tr> <tr><td>平成6</td><td>7,500</td></tr> <tr><td>平成7</td><td>3,500</td></tr> <tr><td>平成8</td><td>2,500</td></tr> <tr><td>平成9</td><td>3,500</td></tr> <tr><td>平成10</td><td>2,500</td></tr> <tr><td>平成11</td><td>1,800</td></tr> <tr><td>平成12</td><td>3,000</td></tr> <tr><td>平成13</td><td>2,800</td></tr> <tr><td>平成14</td><td>4,200</td></tr> <tr><td>平成15</td><td>3,000</td></tr> <tr><td>平成16</td><td>1,500</td></tr> <tr><td>平成17</td><td>2,200</td></tr> </tbody> </table>	年	水草刈取り量 (t-veg/年)	平成5	3,800	平成6	7,500	平成7	3,500	平成8	2,500	平成9	3,500	平成10	2,500	平成11	1,800	平成12	3,000	平成13	2,800	平成14	4,200	平成15	3,000	平成16	1,500	平成17	2,200
年	水草刈取り量 (t-veg/年)																													
平成5	3,800																													
平成6	7,500																													
平成7	3,500																													
平成8	2,500																													
平成9	3,500																													
平成10	2,500																													
平成11	1,800																													
平成12	3,000																													
平成13	2,800																													
平成14	4,200																													
平成15	3,000																													
平成16	1,500																													
平成17	2,200																													
見込まれる改善効果量	<p>計画刈り取り面積による負荷削減量：T-P 0.6kg/日 負荷削減量は現地調査結果より求めた水草密度、及び文献値の水草含有量を使用し算出した値</p>	設定されていない。																												

表 5.2.5 各湖沼においてこれまでに実施されてきた保全対策（栄養塩除去）

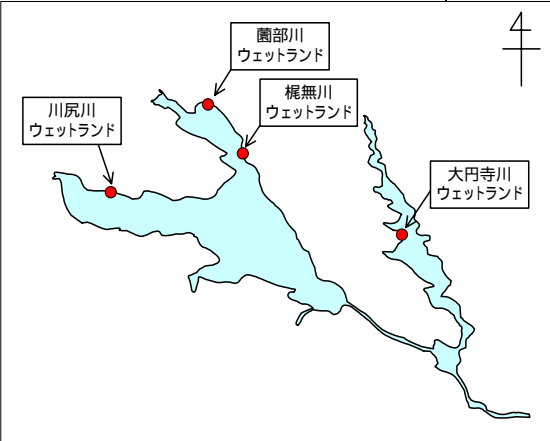
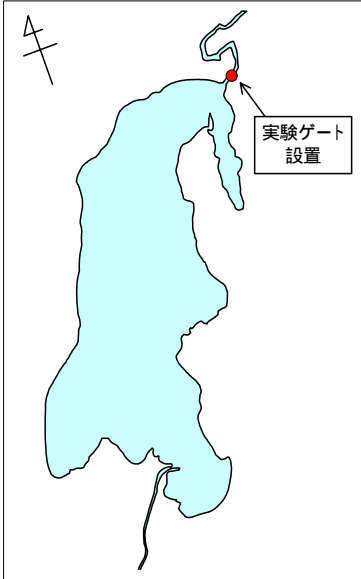
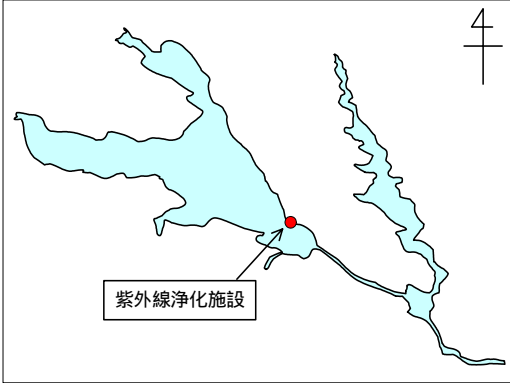
	栄養塩除去：人工内湖の整備	栄養塩除去：浄化用水の導入
湖内水質保全対策	霞ヶ浦（人工内湖）	霞ヶ浦（導水）
期待される水質改善のメカニズム	一時的な貯留による汚濁物質の沈殿・除去 植物体による栄養塩の吸収	湖水の希釈及び滞留時間の短縮
現在の湖内水質保全対策の具体的内容	<p>川尻川ウエットランド (H11年完成、容量約3万m³)</p> <p>梶無川ウエットランド (H12年完成、容量約16万m³)</p> <p>園部川ウエットランド (H14年完成、容量約18万m³)</p> <p>大円寺川ウエットランド (H14年完成、容量約8万m³)</p> 	<p>利根導水路（平成5年度完成） 延長：約2.6km 流量：最大25m³/s</p> <p>那珂導水路（建設中） 延長：約42.9km 流量：最大15m³/s （那珂川から霞ヶ浦） 最大11m³/s （霞ヶ浦から那珂川）</p>
見込まれる改善効果量	<p>除去率 COD 21.9% T-N 7.3%、T-P 17.7%</p> <p>除去率 COD 5.4% T-N 0.9%、T-P 6.2%</p> <p>除去率 COD 15.4% T-N 2.0%、T-P 13.2%</p> <p>除去率 COD 81.1% T-N 19.4%、T-P 69.5%</p>	<p>平成3年～平成12年の10年間の流況をもとにした試算（H14年度実施）では、西浦のCODの10ヶ年平均値を0.8mg/L低減させる効果が得られた。（導水事業の効果試算の底泥条件は、浚渫事業完了後とした。）</p>

表 5.2.6 各湖沼においてこれまでに実施されてきた保全対策（その他）

その他			
湖内水質保全対策	網走湖 (塩淡水境界層制御)	霞ヶ浦(紫外線浄化)	霞ヶ浦 (アオコの除去)
期待される水質改善のメカニズム	塩水遡上制御により、青潮発生を抑制するとともに塩水層からの栄養塩類の移流・拡散を抑え、アオコの発生を抑制する。	紫外線による湖水の浄化	アオコ採取船により湖面に浮遊しているアオコの採取・除去
現在の湖内水質保全対策の具体的な内容	<p>実験方法： ゲートの開閉により海水を遮断し、塩水遡上量の変化を把握する(流速・水質観測、生物採取・観察)</p> <p>調査期間： H18年1月中旬～3月中旬 H19年1月中旬～3月中旬</p> <p>ゲート操作： 調査期間中、潮位が高くなり逆流が生じる時間(1日に3～8時間)にゲートを閉める</p> 	<p>天王崎紫外線浄化施設 (平成5年度完成)</p> 	昭和51年～
見込まれる改善効果量	<p>海水の流入を抑制することで塩淡水境界層水深を6～7mに維持</p> <p>塩淡水境界層制御による負荷削減量：T-P 51.0kg/日</p> <p>水質モデル計算で使用した拡散係数と塩淡水境界層の接触面積を用いて算出した値</p>		

第5章の参考文献

- 1)建設省：湖沼水質改善技術適用マニュアル(案)，財団法人土木研究センター，1987.
- 2)建設省：建設省総合技術開発プロジェクト 湖沼の総合的水管理技術の開発 概要版，財団法人土木研究センター，1987.
- 3)島谷幸宏，細見正明，中村圭吾編：エコテクノロジーによる河川・湖沼の水質浄化 -持続的な水環境の保全と再生-，ソフトサイエンス社，2003.
- 4)本橋敬之助：水質浄化マニュアル 技術と実例，海文堂出版(株)，2001.
- 5)(社)国際建設技術協会：建設技術移転指針(案)(水質浄化対策)，(社)国際建設技術協会，2003.