

日本の汽水湖
～汽水湖の水環境の現状と保全～

＝ 概要版 ＝

平成26年12月
環境省 水・大気環境局
水環境課



第1章 本資料の目的と対象汽水湖	1
1.1 本資料の目的	1
1.2 本資料で取り扱う日本の汽水湖	1
第2章 汽水湖の特徴	3
2.1 汽水湖の特徴	3
2.2 汽水湖の水理・水質特性	3
2.3 汽水湖の生物	6
2.4 汽水湖の利用	7
第3章 汽水湖の現状と課題	8
3.1 汽水湖水質の現状と課題	8
3.2 汽水湖の水産（漁獲量・養殖量）の変遷	13
3.3 人為的作用による汽水湖への影響	14
3.4 汽水湖の課題（まとめ）	15
第4章 汽水湖の保全対策に向けて	16
4.1 汽水湖の水環境保全に向けての基本的な考え方	16
4.2 汽水湖環境形成に関するインパクト・レスポンス	19
4.3 汽水湖の対策等を行う際に参考とするための指標	19
4.4 汽水湖の水質保全対策	19
4.5 汽水湖における調査	20
4.6 湖水流動・水質の数値シミュレーションについて	20
4.7 今後の汽水湖の保全対策の推進に向けて	20
本資料作成に向けての検討会と問い合わせ先	21



1.1 本資料の目的 [本編p1参照]

本資料は、汽水湖水環境に関わる行政やNPO等の関係機関等が汽水湖水環境の保全や対策などの取組を行うときの参考資料となることを目的とし、汽水湖の現状と課題を整理しつつ、汽水湖に関する知見及び水環境保全に向けての考え方をとりまとめたものです。

淡水と海水が混合する汽水湖は、淡水湖と異なり潮汐の影響による流動があること、しかも塩分成層による貧酸素水塊が発生しやすいこと、また生物の面からは、塩分に対応した生態系を形成するとともに生産性が高いなどの特徴を有しています。

日本の湖沼の水質は、環境基準の達成率が50%程度と低い状況であり、汽水湖も例外ではありません。また汽水湖は、特有な水質形成過程を有している中、アオコ・青潮・異臭等の水質の課題、漁獲量の低下、生態系の変化、親水機会の減少等による人と湖との関わりの希薄化等の課題が見られており、その改善が急務になっています。ただし、汽水湖の水質形成過程については未解明の部分が多く、有効な保全対策についても技術が十分に構築されていない状況であります。

このような背景から、汽水湖水環境に関わる方々への参考資料になることを期待し、本資料を作成しました。

1.2 本資料で取り扱う日本の汽水湖[本編p2～5参照]

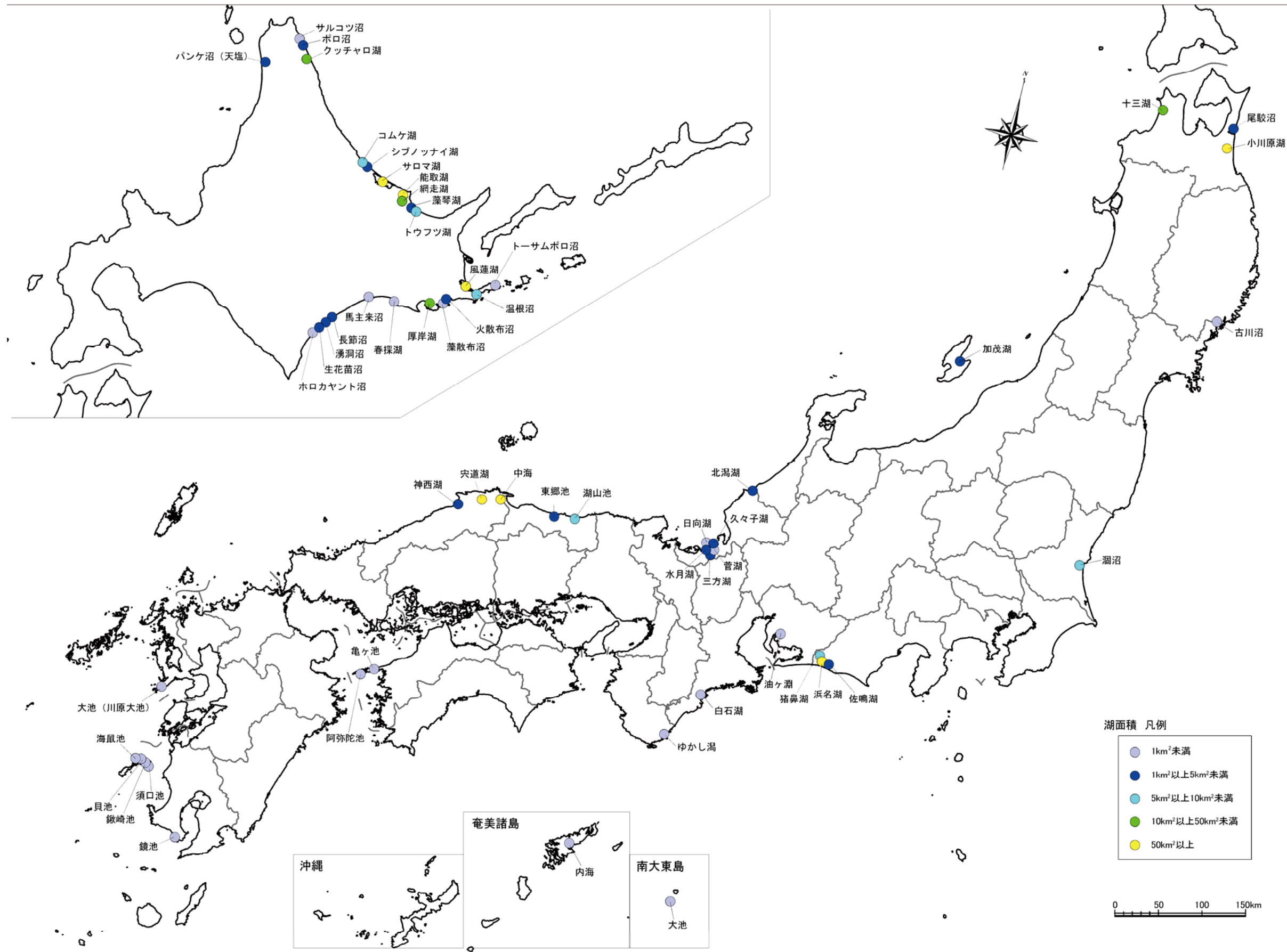
本資料で取り扱う汽水湖については、日本の汽水湖に係る基礎的な情報を掲載する文献と、「自治体アンケート」(環境省,2011)^{※1}により56湖沼を挙げました(図1-1)。

- これら湖沼の分布をみると、半数近くが北海道に存在しており、次いで日本海側、東日本の太平洋側に見られています。関東以西の太平洋側では、浜名湖以外に大きな汽水湖が見あたりません。
- それら56湖沼のうち、サロマ湖、能取湖、風蓮湖、加茂湖、浜名湖、中海、海鼠池、須口池、貝池、内海などは塩化物イオン^{※2}が10,000mg/L前後から海水に近い程度まで含まれています。
- 一方、小川原湖、涸沼、北潟湖、水月湖、佐鳴湖、油ヶ淵、宍道湖、^{くわさきいけ} 鋤崎池などは塩化物イオン濃度が3,000～5,000mg/Lを下回る状況が見られます。

※1:本資料を作成するに当たり、環境省が平成23年度に地方自治体環境部局の水質担当者へ汽水湖に関するアンケート調査を実施し情報を収集しました。本資料では「自治体アンケート」と称します。

※2:本資料で扱う塩分の単位については、**本編p3**を参照下さい。

図1-1 本資料で取り扱う日本の汽水湖 [本編p5参照]





2.1 汽水湖の特徴 [本編p7～8参照]

「汽水」とは、海水と淡水の中間の塩分を持つ水のことをいい、その水を湛えている湖沼を「汽水湖」といいます。

日本には面積4km²以上の湖沼（ダム湖含まず）が53湖沼^{*1}あり、その約1/3の18湖沼が前述の図1-1で挙げた汽水湖に該当します。

なお、汽水湖の特徴については、**本編p7～8**に概要をまとめましたので、そちらを参照下さい。

※1: 国立天文台編(2013)「平成25年版理科年表」丸善(株),PP606.

2.2 汽水湖の水理・水質特性 [本編p9～47参照]

■■■ 成層という現象 ■■■ [本編p9参照]

水の密度（重さ）は塩分や水温の違いにより異なっています。例えば塩分が濃くなると密度が大きくなり、水温では4℃の密度が最も大きくなります。

湖沼では上下層間の密度差が水温や塩分などの違いにより大きくなると、鉛直混合が制限され水塊が二層に分離するようになり、これを「成層」といいます。上下層間の密度差が塩分の違いによるものを「塩分成層」といいます（図.2.2-1）。一方、塩分を含まない淡水湖では水温の違いによる「成層」が形成されやすいです。

汽水湖は、塩分を含んでいることから、その上下層の密度が塩分の違いにより異なり、塩分成層の形成が多く見られます。このとき、下層には高密度水（高塩分、あるいは低水温の重い水）、上層には低密度水（低塩分、あるいは高水温の軽い水）に区分されます。特に塩分の違いによる密度差は水温によるものよりはるかに大きいことから、塩分成層が形成されているときには上下層が明瞭に分離されやすくなります。

このように、汽水湖では塩分の影響により、淡水湖と比べて上下層の密度差が大きくなり、成層が強固に形成されやすくなる特徴があります。その結果、底層の貧酸素化等の現象をもたらすこととなります。

なお、成層に伴う現象については、**本編p11**を参照下さい。

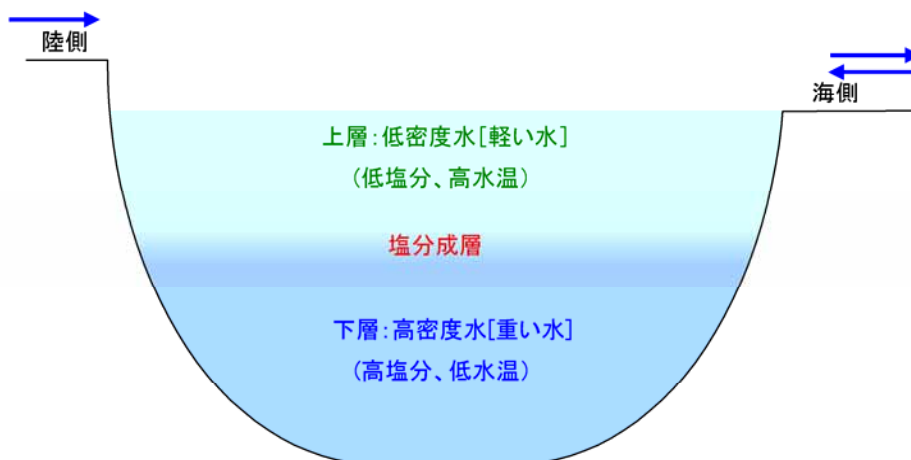


図2.2-1 汽水湖の成層のイメージ

■■■ 湖内の流動特性 ■■■ [本編p22~28参照]

汽水湖の流動(湖内の流れ)は、気象、水文、天文、海象によりもたらされる風や、海域と汽水湖の水位差が外力となつて影響します。

図2.2-2は、汽水湖における気象・水文・天文・海象の要因と湖内流動の関係を示したものです。

降雨・河川流入の水文要因、風や気温変化などの気象要因、外海の潮位変動(海象要因)が湖内に働く外力をもたらし、湖内の流動と関わりがあることが伺えます。さらに湖内流動には、湖沼地形(湖表面積、水深、湖底形状等)や湖水の密度分布(水温、塩分等)も左右します。

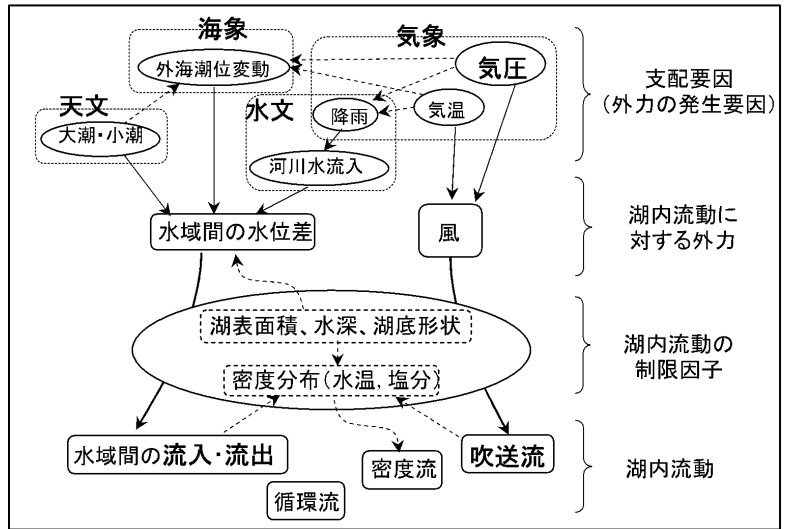


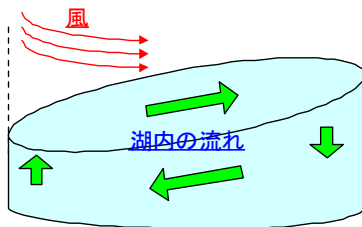
図2.2-2 汽水湖における気象・水文・天文・海象の要因と湖内流動の関係※1

※1:湖沼技術研究会(2007)「湖沼における水理・水質管理の技術」国土交通省,PP6-249.

そのような外力については、例えば次のように湖内流動に関わっています(図2.2-3)。

- 湖面上に風が吹くと、水面の水は風に押されて風下方向に移動し流れを生じます。この流れを「吹送流」といい、その吹送流は風が強いほど大きくなり、ときには湖内が混合されます。
- 海域と汽水湖の水位差により生じる「潮汐流」に応じ、塩水の遡上や下流への流下が見られ、その遡上が湖内流動に直接影響を及ぼします。
その水位差には、外海の潮位や陸域からの河川流量が左右しており、それらは気圧や降雨量といった気象・水文条件が関連します。

■風に伴う流れ(吹送流)



■水位差に伴う流れ(潮汐流)

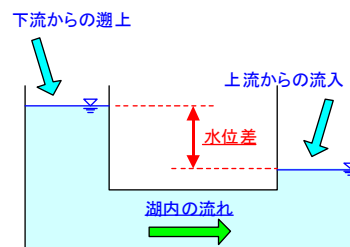


図2.2-3 風や(海域と汽水湖の)水位差に伴う流れのイメージ図(左：吹送流、右：潮汐流)

なお、湖内の流動特性の詳細については、**本編p23~28**を参照下さい。



■■■ 湖内の水質・底質特性（水質負荷収支） ■■■ [本編p29～32参照]

汽水湖は流域の最下流に位置するとともに、下流から塩水（海水）が遡上することから、次のような特徴が挙げられます。

- 流域からの有機物や栄養塩類等の汚濁負荷が集積しやすいです（図2.2-4～5）。
- 一方、上流からだけではなく、下流から遡上する塩水に含まれる汚濁負荷の流入もあります（図2.2-4～5）。ただし、海水による希釈が見られることもあります。
- 湖内では内部生産（湖底からの栄養塩類等の溶出、植物プランクトンの増殖など）が見られます（図2.2-5）。

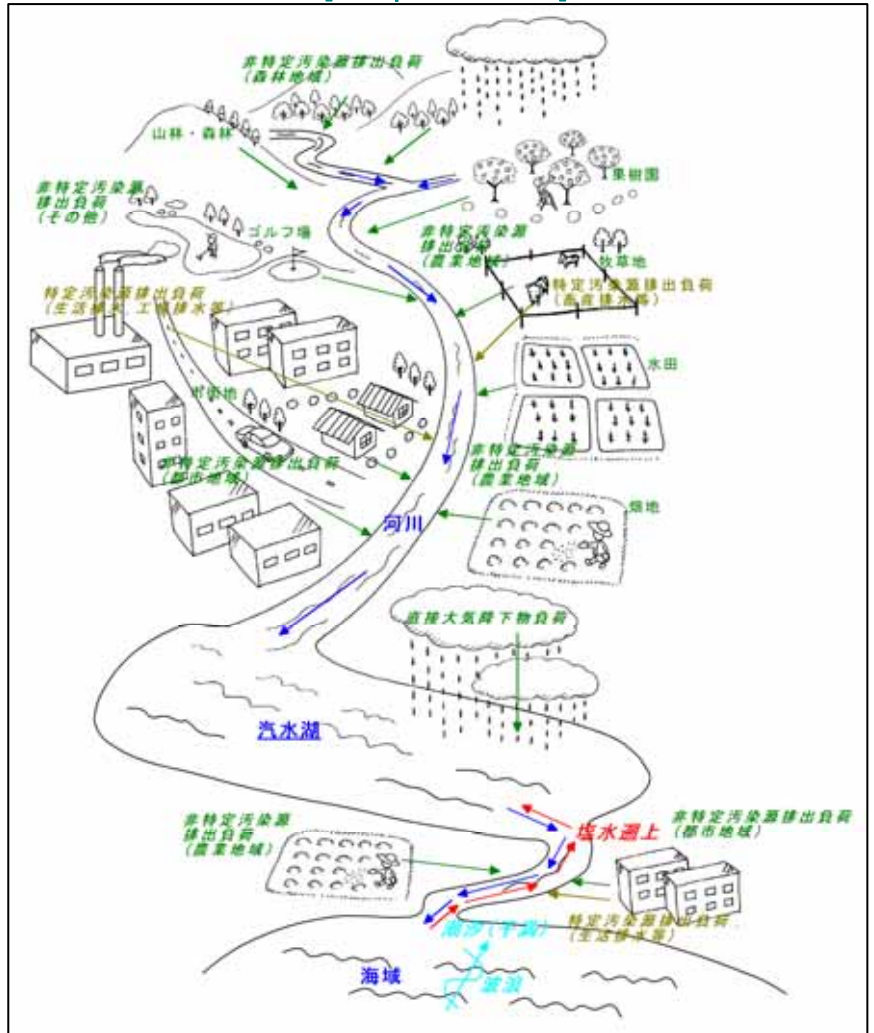


図2.2-4 汽水湖への流域の人為的インパクトのイメージ

例えば酒沼では、上流から流入する負荷量が全体の約2割であるのに対し、下流からの塩水遡上に伴って流入する負荷量が約6割を占めている検討結果が得られています（図2.2-5）。

以上のことから、汽水湖の水質を把握する際には、上流からのみならず、下流からの塩水遡上に伴う流入負荷や塩分などにも着目する必要があります。

なお、湖内の水質・底質特性の詳細については、**本編p29～47**を参照下さい。

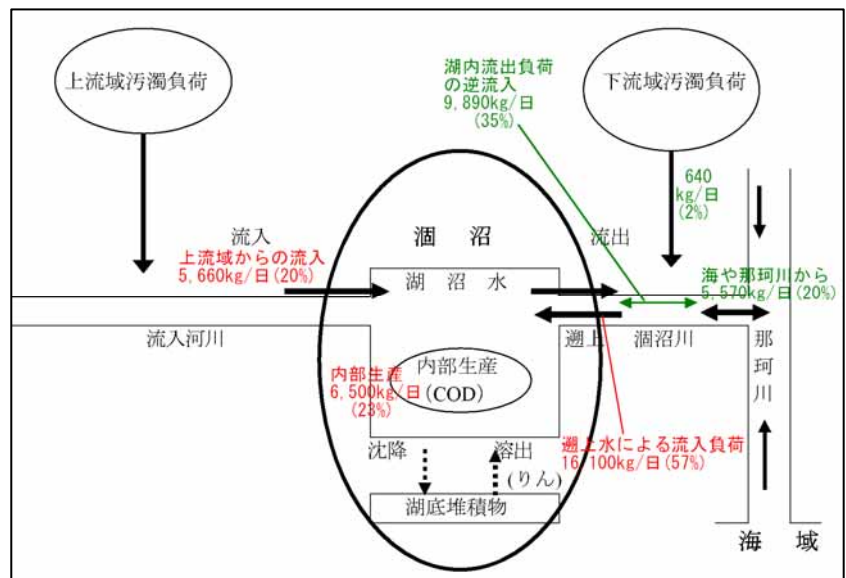


図2.2-5 汽水湖の水質(COD)負荷収支の検討例<酒沼>
※茨城県提供資料

2.3 汽水湖の生物 [本編p48～67参照]

■■■ 汽水湖に生息する生物の特徴 ■■■ [本編p48～58参照]

汽水湖は海水と淡水が混合する場であり、生物にとっては海域や淡水域と全く異なる独自の生息場になっています。特に汽水湖は時間的にも空間的にも塩分の変動が激しくなりやすく、そのような塩分変動は生物にとって大きな影響要因となり、生物の種類は塩分に応じて異なります(図2.3-1)。

このため、次のような特徴が挙げられます。

○移動能力に乏しい貝類や底生動物などは、塩分に応じた浸透圧調節^{※1}を行う能力を求められるため、それに対応できる種が少なく(種多様性が低く)なりやすいです。

しかし、その環境(塩分)に適応できる生物にとっては、餌資源を巡る他種との競争が少なくなるため、流域から汽水湖に集積する栄養分を豊富に摂取しやすくなるので、その生産性は高くなります。

○移動性のある魚類や鳥類は、上記のように豊富な貝類や底生動物、植物プランクトンなどの餌資源を入手できることから、生産性が高くなります。また魚類などは汽水産種に加えて海産種や淡水産種で構成され、種の変化に富むこととなります。

以上のように汽水湖に生息する生物については、生産性が高く(本編p59～63参照)、移動性のある魚類や鳥類などは変化にも富む多様性を有します。しかし生息する生物(特に移動性の低い生物)は、塩分等の変動により大きな影響を受けやすい特徴もあり、移動性のある生物もその環境変化に伴う影響を受けるおそれがあります。

このため、人為的な作用により汽水湖環境に変化を与えると、そこに生息する生物への影響が生じるおそれがあることに留意が必要です。

※1:生物の細胞膜は半透膜であり、生物が生命を維持するために体液の浸透圧(濃度)を一定に保つ必要があります。その作用を「浸透圧調節」といいます。特に移動能力に乏しい貝類や底生動物などは、生息場が浸透圧調節できない環境(塩分)になると生息に影響を及ぼされやすくなります。

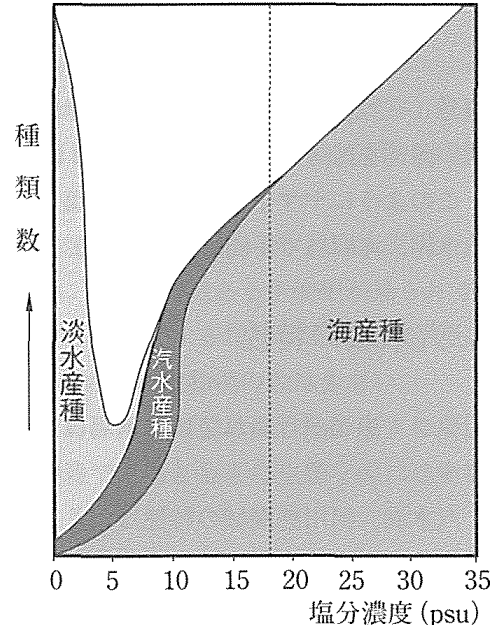


図2.3-1 塩分と生物の種類の関係
※J.Hedgpeth(1957)

■■■ 生物資源による水質浄化能力 ■■■ [本編p65～67参照]

二枚貝等の懸濁物食者は水中の懸濁態栄養塩類をろ過し、湖内の水質浄化(懸濁物の低減)を図ります。懸濁物食者が排出した未消化物(糞など)は、ゴカイ等の表層堆積物食者の餌となります。さらには魚類や鳥類がそれらの豊富な餌資源を捕食することができるようになります。そのような食物連鎖は汽水湖の生産性を高めている要因になっています。

また漁獲や鳥類等による捕食に伴って二枚貝等が湖外へ持ち出されることから、湖内の栄養塩類等の削減といった水質浄化につながることを期待されます。



2.4 汽水湖の利用 [本編p68～70参照]

多くの汽水湖が漁業や養殖などの水産活動を行う重要な場になっています。このほか、遊覧船等の観光や釣りなどのリクリエーション活動の場、飛来白鳥の見学など人と自然が触れあう場として利用されている汽水湖も多いです。また自然公園等の指定区域内に該当する汽水湖やラムサール条約の湿地環境として選定されている汽水湖（風蓮湖、厚岸湖、三方五湖、中海、宍道湖等）もあります。しかし、湖水は塩分を含むため、農業用水、工業用水、上水道水の利用は困難になっています。

漁業については、「自治体アンケート」によると、シジミやアサリ等の貝類やカニ・エビ類のほか、ワカサギ、コイ、フナ、ウナギ、ハゼ、シラウオや、サケ、マス、カレイ類等の魚類が対象種として挙げられています。

養殖については、北海道の汽水湖や浜名湖・猪鼻湖、油ヶ淵、三方五湖で行われています。養殖対象種は、北海道の汽水湖ではカキ類やホタテ等の貝類が、浜名湖ではカキ類やノリ類、ウナギ等が、油ヶ淵や三方五湖ではコイ、フナ等の魚類が挙げられています。

なお、各汽水湖の利用状況は、**本編p68,70の表2.4.1-1,表2.4.2-1**を参照下さい。

写真1 シジミ漁（宍道湖）



写真2 ホタテ稚貝の仮採苗（サロマ湖）



写真3 カヌー大会（東郷池）



図2.4 汽水湖利用の例

※写真出典

写真1：島根県ホームページ

(http://www.pref.shimane.lg.jp/suigi/naisuimen/yutakana/sijimi_gyogyou.html)

写真2：サロマ湖養殖漁業協同組合ホームページ (<http://saromako.org/>)

写真3：鳥取県未来づくり推進局未来戦略課「鳥取県写真ライブラリー」鳥取県ホームページ

(<http://db.pref.tottori.jp/photograph.nsf/t1.htm>)

3.1 汽水湖水質の現状と課題 [本編p71～117参照]

■■■ 汽水湖の環境基準達成状況 ■■■ [本編p71～74参照]

汽水湖水質については、海域類型指定のものも含めて環境基準の達成率が低い傾向にあります(表3.1-1)。

流域の下流に位置する汽水湖は、下水道の普及等により河川の評価項目であるBODが低減されていますが、排出源が面的で特定しにくい市街地や農地等の非特定汚染源からの汚濁負荷等が流入してくる影響や、湖内での窒素やリンの内部生産などにより環境基準の達成率が低いことが考えられます。このことは、図3.1-1を見ると、標高の低い流域の下流に位置する淡水湖においても同様であることがわかります。

ただし、汽水湖が多く見られる北海道では、流域の泥炭からの腐植物質の存在(自然由来の難分解性有機物)がCODに影響しているものもあります(本編p76参照)。

表3.1-1(1) 環境基準達成率 (BOD又はCOD)

水域	環境基準達成率	
全体	87.6%	
河川	92.3%	
湖沼	50.0%	汽水湖 9.5%
海域	79.2%	

※環境省(2010)「平成21年度公共用水域水質測定結果」

表3.1-1(2) 環境基準達成率 (湖沼における全窒素、全リン)

水域	全窒素のみ達成	全リンのみ達成	全窒素かつ全リン達成
湖沼※2	15.4%	58.3%	52.2%
汽水湖※3	26.7%	26.7%	13.3%

※1：環境省(2010)「平成21年度公共用水域水質測定結果」

※2：湖沼の達成率には汽水湖が含まれており、表示している汽水湖のものと重複する。

※3：汽水湖には海域の類型指定を受けているものも含まれる。

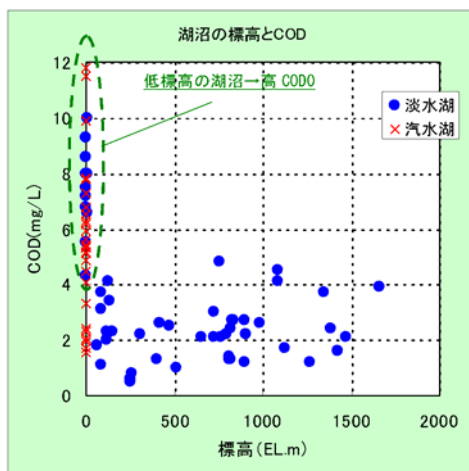


図3.1-1 汽水湖と標高別淡水湖のCOD (平成21年の年平均値)

なお、汽水湖では環境基準を達成させることが水質保全上、重要な課題の一つですが、汽水湖固有の特性や課題、地域からのニーズを踏まえると、対策等を行うには塩分や底層の硫化水素、溶存酸素量(DO)などに着目することが重要と考えられます(本編p74参照)。



■■■ 汽水湖の水質の課題 ■■■ [本編p79～100参照]

汽水湖における水質に関する課題としては、底層の貧酸素化が挙げられます。

貧酸素化は、酸欠や硫化水素発生を通じて水生生物へ影響を及ぼす要因になります。また強風が一定時間連続して吹いた場合には青潮が生じて魚類の斃死等の被害をもたらすおそれがあります。

塩分成層の位置（塩淡境界面）が上昇すると、底層の貧酸素水塊が拡大して水生生物への影響が大きくなるのが懸念されます。このほか、淡水湖と同様に栄養塩類の溶出に伴う富栄養化の促進なども懸念されます。さらに底層の貧酸素化は、底質環境の悪化(還元化・細粒化)をもたらすおそれがあります。

また水質の課題としては、植物プランクトンの異常増殖に伴うアオコや赤潮の発生も挙げられます。

なお、本資料では以下の項目に沿って汽水湖における水質に関する課題を整理しました。また底層の貧酸素化は、底質の変化(還元化・細粒化)による影響をもたらしやすいです。これについては、次項「底質環境の悪化」（**本編p101～117参照**）で詳述します。

- [1]底層の貧酸素化とそれに伴う影響
 - (1)底層の貧酸素化の発生（図3.1-2）
 - (2)自然条件でも生じうる底層の貧酸素化
 - (3)青潮の発生とその影響（図3.1-3～4）
 - (4)硫化水素の発生による影響
- [2]植物プランクトンの異常発生(アオコ・赤潮) （図3.1-5）

[1]底層の貧酸素化とそれに伴う影響 [本編p80～92参照]

(1)底層の貧酸素化の発生 [本編p80～81参照]

汽水湖では底層の貧酸素化が問題の一つになっています。貧酸素化は、湖内流動、水温や塩分に伴う密度成層、湖沼地形(閉鎖度や水深等)、流域からの有機物や栄養塩の流入負荷、水域内部での有機物負荷の増加、人為的な改変(浚渫等)などが要因になって底層の溶存酸素量が減少して生じます。

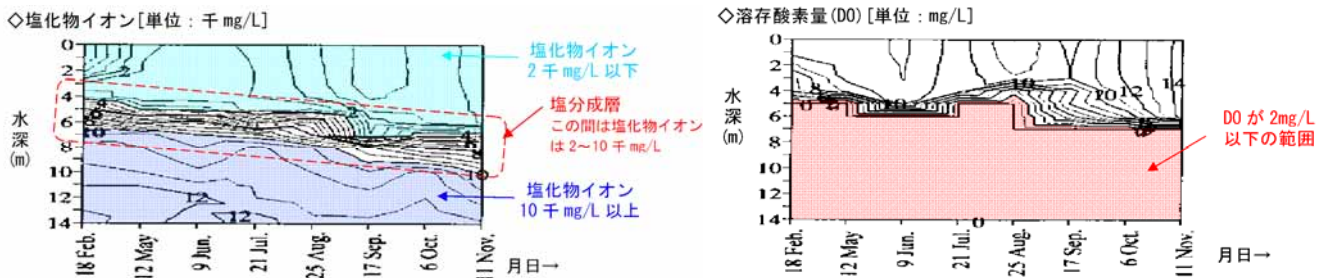


図3.1-2 網走湖の貧酸素化の例（塩化物イオン、溶存酸素量(DO)の時系列鉛直分布(1992年)）

※三上英敏(2000)「網走湖の陸水学的特徴と長期的環境変化」高村典子編,湖沼環境の変遷と保全に向けた展望,国立環境研究所研究報告 第153号,環境庁国立環境研究所,PP5-33.



(2) 自然条件でも生じる底層の貧酸素化 [本編p83参照]

底層の貧酸素化は、流域からの有機物や栄養塩類の流入負荷等が要因の一つになりますが、閉鎖的な地形要因に加え、塩分成層が形成されやすいという特性などにより自然条件でも生じるという側面があります。人為的影響が現在より比較的少ない昔においても無酸素層が生じている汽水湖が多く見られていました（本編p83、表3.1.3-1参照）。

(3) 青潮の発生とその影響 [本編p84～90参照]

青潮とは、強風が一定時間連続して吹いた場合に風下に湖水が吹き寄せられ、風上側に溶存酸素量が乏しく硫化水素等を多く含む下層の水塊が上昇するものであり（図3.1-3）、魚類の斃死等の被害をもたらすことから、汽水湖の問題の一つになっています。

このような青潮に伴う水産資源への影響は、網走湖や中海、浜名湖などで見られています。

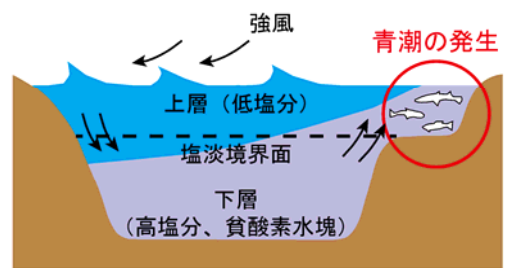


図3.1-3 青潮の概念図

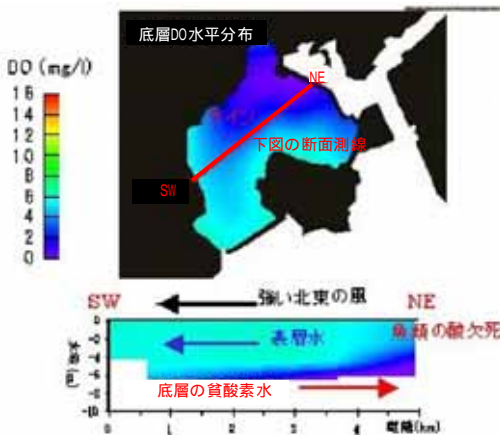


図3.1-4 中海(本庄水域)の青潮現象に伴う魚類等の斃死の事例（平成14年8月）
※島根県ホームページ (http://www.pref.shimane.lg.jp/suigi/naisuimen/kaisetu/sinjiko_nakaumi9.html)

(4) 硫化水素の発生による影響 [本編p91～92参照]

硫化水素の発生は水生生物に致命的な影響を及ぼす要因になります。水生生物にとっては、底層の貧酸素化に伴う酸欠による影響を受けるほか、貧酸素水塊に含まれる硫化水素に曝露されることにより生息が困難となります。

硫化水素の影響を把握するには遊離される溶存 H_2S の直接的な測定が重要ですが、遊離 H_2S の測定技術は普及しておらず、調査データが蓄積されていません。よって、今後、硫化水素については、その測定技術の開発及び普及促進、データ蓄積が課題です。

また現場においては、簡易に測定できる酸化還元電位(ORP)や溶存酸素量(DO)を測定することにより還元的環境の状況を把握することが重要です。



[2] 植物プランクトンの異常発生(アオコ・赤潮) [本編p93～100参照]

汽水湖では植物プランクトンの異常増殖の結果、アオコや赤潮が発生して水質保全上の問題となっています(図3.1-5)。ただし植物プランクトンの生息状況は塩分に応じることから、アオコや赤潮の発生は栄養塩類等のほかに塩分も左右されると考えられます(下記に例示)。

- 大橋川を挟んで連続している汽水湖である中海、宍道湖を見ると、高塩分の中海では赤潮、低塩分の宍道湖ではアオコが発生する傾向にあります。
- 湖山池では農業用水を利用するために低塩分管理を行っていましたが、アオコ等が発生するようになりました。そのアオコ低減等を目的とし、塩分調節(高塩分化)の対策を近年実施してアオコ発生が抑制されましたが、赤潮^{うずべんもちょうぞうるい}が一時的に見られました。
- 高塩分の汽水湖(浜名湖や加茂湖など)では渦鞭毛藻類等による赤潮が生じ、ときには有害プランクトンの赤潮による水産資源への影響が見られています。

なお、植物プランクトンと塩分の関係については、本編p182～186,190を参照下さい。

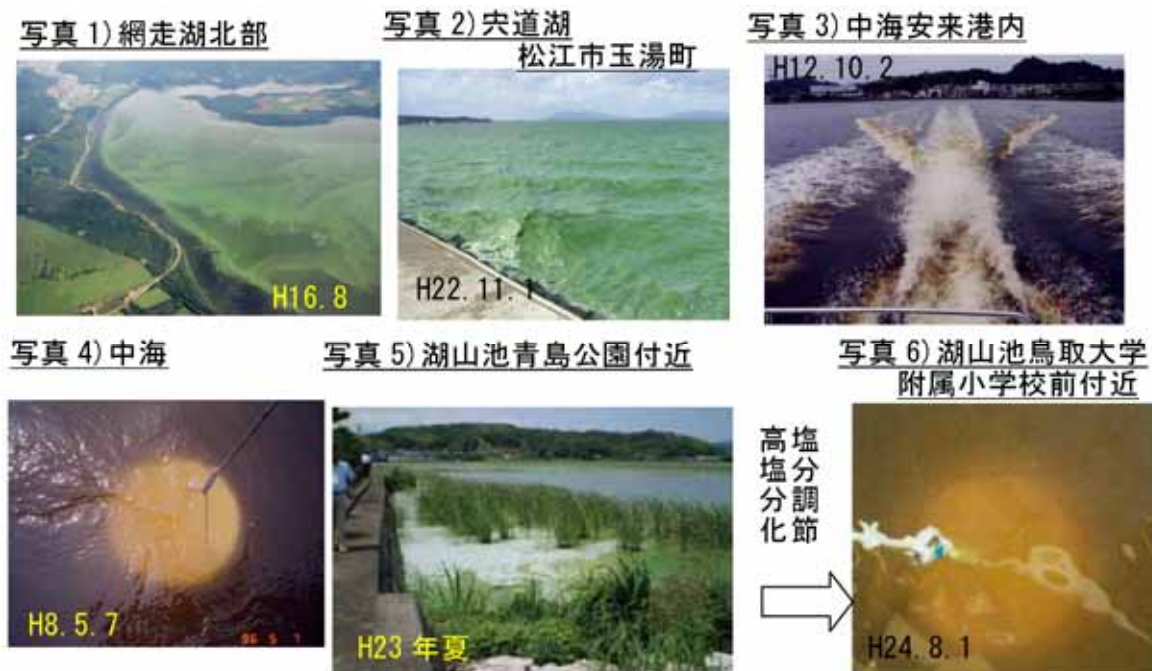


図3.1-5 汽水湖におけるアオコや赤潮の発生例

- ※写真1) 北海道開発局(2010)「網走川総合水系環境整備事業 再評価原案準備書説明資料」北海道開発局網走建設部ホームページ,PP6.
(http://www.hkd.mlit.go.jp/topics/singi/h221110_2_3_1.pdf)
- ※写真2) 島根県環境生活部環境政策課(2010)「H22 宍道湖で発生したアオコについて」島根県ホームページ
(http://www.pref.shimane.lg.jp/shinjiko_nakaumi/suisitu_zyouka_torikumi/sinnziko_suisitu.data/22_02_06.pdf)
- ※写真3)～4) 神谷宏撮影
- ※写真5) 鳥取県・鳥取市(2012)「湖山池将来ビジョンー恵み豊かで、親しみのもてる湖山池を目指してー平成24年1月」鳥取市ホームページ
(http://www.pref.tottori.lg.jp/secure/663619/koyamaike_vision_all.pdf)
- ※写真6) 鳥取県提供資料

■■■ 底質環境の悪化 ■■■ [本編p101~117参照]

[1] 底質変化（還元化・細粒化）による影響 [本編p101~103参照]

「底質の還元化^{※1}」は、硫化水素の発生や栄養塩類等の溶出などをもたらす、水生生物や水質への影響を及ぼすほか、底質の細粒化を促進させるおそれがあります。還元化された底質は、有機物、硫化物を多く含む含水率に富むシルト・粘土になっており、腐食臭や腐乱臭を漂わせ黒色を呈しています。

また汽水湖で重要な資源となるシジミやアサリ等の二枚貝は、生息する上でシルトや粘土のような細粒の底質では生息できません（図3.1-6~7）。このことから、「底質の細粒化^{※1}」は、二枚貝等の生息環境へ大きな影響を与えるおそれがあり、汽水湖における重要な問題の一つです。また有機物を多く含む含水率に富むシルト・粘土が流域から流入して湖底に堆積（底質の細粒化）すると、酸素を消費しやすくなるので底質が還元化しやすくなります。

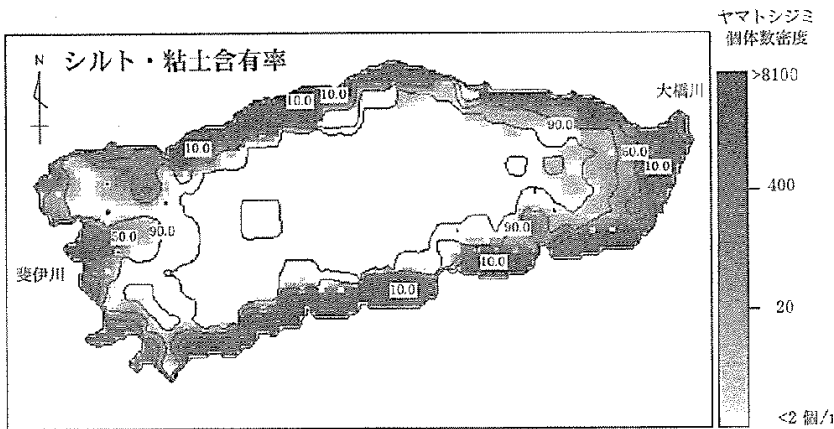
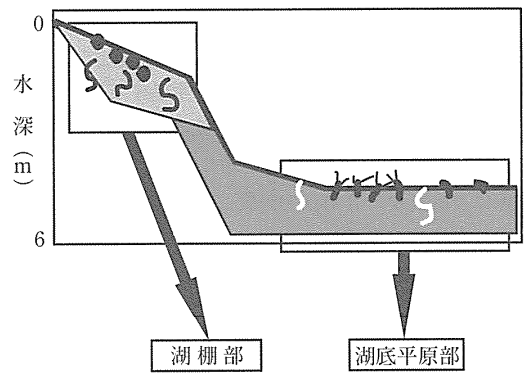


図3.1-6 宍道湖のヤマトシジミの分布と底質(シルト・粘土含有率)の関係^{※2}

※1:「底質の還元化」、「底質の細粒化」の用語については、本編p101を参照下さい。

※2:中村幹雄(2000)「日本のシジミ漁業 その現状と問題点」たたら書房,PP8~9.



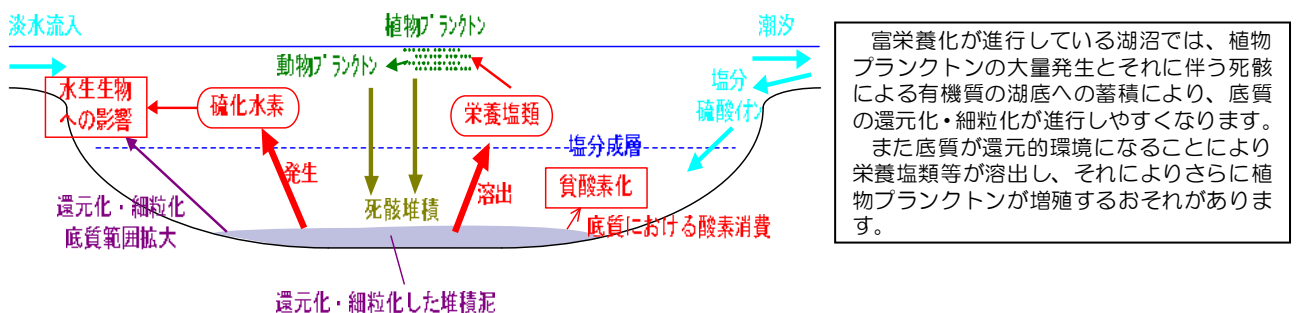
底質粒度	粗砂~細砂	極細砂~シルト・粘土
強熱減量	3%	13%
COD	10mg/g	35mg/g
硫化物量	0.1mg/g	1.5mg/g
泥含有量	15%	90%
溶存酸素	飽和	貧酸素
生物相	多様	貧弱
生物量	多い	少ない

図3.1-7 宍道湖の湖底地形から見た生息場所とそれぞれの環境の違い^{※2} (浅い沿岸部と深い湖底平原の比較)

[2] 底質変化（還元化・細粒化）の要因について [本編p104~114参照]

底質変化(還元化・細粒化)の要因については、底層の貧酸素化などの湖沼の富栄養化の進行に伴うもののほか、流域からの土砂供給形態や湖岸状況の変化などが推測されます。

詳細は本編p105~114を参照下さい。



富栄養化が進行している湖沼では、植物プランクトンの大量発生とそれに伴う死骸による有機質の湖底への蓄積により、底質の還元化・細粒化が進行しやすくなります。また底質が還元的環境になることにより栄養塩類等が溶出し、それによりさらに植物プランクトンが増殖するおそれがあります。

図3.1-8 底層の貧酸素化、湖沼の富栄養化の進行に伴う底質の還元化・細粒化のイメージ図



3.2 汽水湖の水産（漁獲量・養殖量）の変遷[本編p118～125参照]

汽水湖は生産力が高い特性を有しており、水産を行う重要な水域になっているものが多いです。しかし漁獲量は長期的に見ると減少傾向にあり(過去30～50年前と比べて減少)、このことは汽水湖で重要な課題の一つになっています。

例えば図3.2-1は汽水湖の主産業の一つであるシジミ漁獲量の長期的変遷(網走湖、十三湖、小川原湖、涸沼、宍道湖)を示したものです。これら5湖合計のシジミ漁獲量は昭和58年以降に減少傾向を示しており、平成21年には7,900(t/年)と昭和58年の3割程度まで少なくなっています。その合計漁獲量は5湖の大半を占めている宍道湖の減少が大きく響いています。

宍道湖は本図以降も減少し続け、平成23年には長年にわたり全国1位だった島根県のシジミ漁獲量が激減して首位の座を青森県に明け渡しました。しかし小川原湖や涸沼もここ10年間で減少傾向が見られており、十三湖も平成15年頃まで増加していましたが、それ以降減少しています。

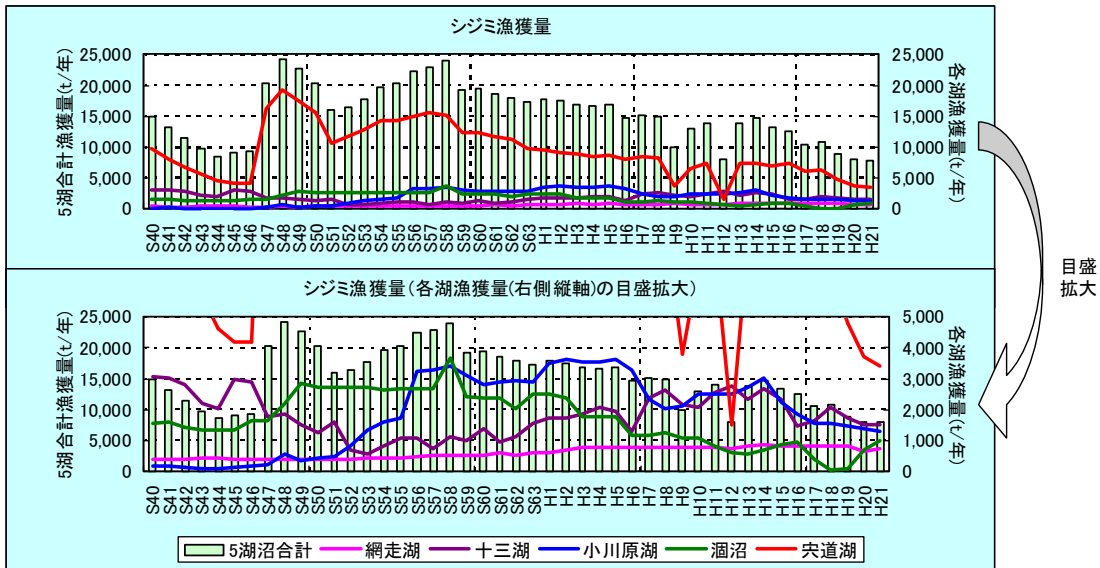


図3.2-1 シジミ漁獲量の長期的変遷(網走湖、十三湖、小川原湖、涸沼、宍道湖とその合計)
 ※中村幹雄(2011)「わが国の水産業 やまとしじみ」社団法人 日本水産資源保護協会, PP11データより作成

中海の漁獲量とCPUE(1漁労体当たりの漁獲量)を図3.2-2に示します。

中海は1960年代前半を境に漁獲量が激減し、その後も減少傾向にあります。

一方、1漁労体当たりの漁獲量(CPUE)は2000年代初期まで概ね横這いで推移して約2～3(t/年)を維持していましたが、2003～2004年には1.2トン程度まで急減しています。

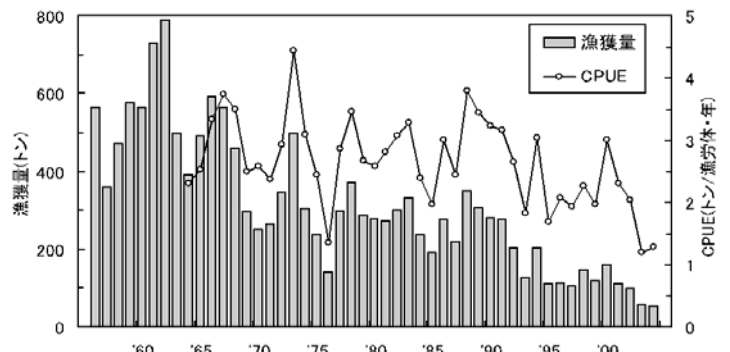


図3.2-2 中海の小型定置網による年間漁獲量と1漁労体当たりの漁獲量(CPUE)の長期的変遷
 ※森脇晋平・道根淳(2007)「中海における漁獲量変動」島根県水産技術センター研究報告1, PP41～48.

3.3 人為的作用による汽水湖への影響[本編p126～145参照]

汽水湖は固有な湖環境を有し、生産性が高い水域であることから、動植物の生息・生育場となるとともに、人々にも水産資源や自然との触れあい等の恩恵を多くもたらしてきました。

しかし汽水湖は、流域の最下流端に位置し、人口が集中する平野部であることが多いことから、人間活動の最も活発な場所にあるという立地条件になりやすいです。また湖口(河口)閉塞等による流下阻害や周辺に標高が低い平地が広がって浸水被害が生じやすい地形条件、周囲に人口が集中しやすい地域性などの背景を有することを踏まえると、氾濫時の被害が甚大となるおそれ十分に高いことから、洪水を安全に流下させることや高潮による被害を軽減させることなどの治水対策が重要です。

このため、汽水湖は人々の生活や国の施策と深い関わりをもち、その社会的背景のもと汽水湖環境が変化し(表3.3-1)、ときには汽水湖環境は人為的改変による影響(干拓、淡水化、開削など)が及ぼされてきました。

このように汽水湖においては、人々の生活を守るための治水等を目的として人為的な改変を行わざるを得ない面があるものの、人為的な改変を講じる際には、汽水湖が人々に様々な恩恵(水産資源等の供給、人と自然の触れあいの場の提供など)を与えてくれる水域であるとともに、その基盤が水生生物の生息・生育、一次生産の働き、栄養塩類の循環など生態系由来によるものであることを認識し、汽水湖環境への影響に関する科学的な調査・検討による裏付けを行いながら、環境への影響低減に努めることが重要です。

なお、人為的作用による汽水湖への影響の詳細については、本編p126～137を参照下さい。また人為的改変が行われていない汽水湖(鹿児島県上甕島^{かみこしじま}の湖沼群)もあることから、その汽水湖の紹介を本編p138～141に整理しましたのでそちらも参照下さい。

表3.3-1 汽水湖と社会の関わり方の概要

年	社会の動き(法律)	時代背景	霞ヶ浦	八郎湖	河北潟	中海	小川原湖	湖山池	浜名湖	サロマ湖
S20	S20終戦 S25国土総合開発法	食糧増産	各地で干拓	S32干拓着手					S21今切口浚渫	1920年代湖口開削
S30				S36防潮堤完成 S43干拓完成	S38干拓着手	S38干拓着手	S37高瀬川放水路開削		湖口(今切口)の改変導流堤工事 塩分増加1950年代～1965年頃	
S40	S36水資源開発促進法 S39新河川法	高度経済成長	S36水道給水開始 S43常陸川水門完成 S49水門完全閉鎖	淡水化	S46干陸完了淡水化	S49中浦水門完成	小川原湖広域水道用水供給事業(淡水化計画)	S41水門操作開始		
S50	S45水質汚濁防止法 S48瀬戸内海環境保全特別保護法	減反政策 オイルショック 汚濁防止の兆し	淡水化			S56森山堤防締切				S54第二湖口開削
S60	S59湖沼法		S56霞ヶ浦富栄養化防止条例		S61干拓事業及び公団事業の完了	S63本庄地区工事中断		S57～58千代川河口付替工事		
H1	H5環境基本法	環境保全の兆し						H1低塩分管理開始		
H10	H9改正河川法(環境へ配慮)環境影響評価法					H12干拓事業中止	H8淡水化計画中止			
H20	H20生物多様性基本法							H24高塩分管理開始(汽水湖再生)		



3.4 汽水湖の課題（まとめ）【本編p146～153参照】

汽水湖の課題については、前項までの結果や「自治体アンケート」等を踏まえると次のようなものが挙げられます。

なお、ここでは課題事項のみ列挙しました。これらの詳細は**本編p146～153**を参照下さい。

◆水質状況に係る課題

- (1) 環境基準未達成
- (2) 水質形成過程の複雑性
- (3) 流域からの栄養塩類等の集積・内部生産による有機汚濁負荷の増加～水質悪化

◆水質悪化に伴う水産資源や水生生物などへの影響に係る課題

- (4) 塩分変化に伴う環境影響
- (5) 底層貧酸素化に伴う水産資源への影響
- (6) 底質環境悪化(還元化・細粒化)に伴う水産資源・水生生物への影響
- (7) 植物プランクトン異常増殖に伴う水産資源・水生生物・景観への影響、カビ臭発生
- (8) 水交換の低下による水質悪化

◆水産資源や水生生物などに係る課題

- (9) 豊かな生物の生息環境保全
- (10) 漁獲量・養殖量の減少
- (11) 植物帯の異常繁茂に伴う影響
- (12) 植物帯の減少～水生生物の生息場縮小

◆人為的改変に係る課題

- (13) 人為的改変に伴う影響
- (14) 生活排水、農業排水、畜産排水等の流域負荷

◆人と汽水湖の関わりに係る課題

- (15) 地域住民と湖沼の関わりの希薄化

◆水質保全対策に係る課題

- (16) 対策(流域対策、自然浄化、浚渫等)の効果が不明瞭
- (17) 汽水湖の対策等を行う際に参考とするための指標づくり
- (18) 対策の計画立案
- (19) 汽水湖の環境を捉える調査・検討の実施
- (20) 現在の自然豊かな汽水湖環境の保全

4.1 汽水湖の水環境保全に向けての基本的な考え方 [本編p156～169参照]

■■■ 汽水湖の主な課題とそれらに対する対策時の留意点 ■■■ [本編p156～163参照]

[1] 汽水湖の主な課題となる現象とそれら現象に関わる要素 [本編p156参照]

汽水湖は人との関わりが深く、水産業が盛んであるものが多いです。しかし、湖の成層形成、底層の貧酸素化、塩分変化などやそれらに伴う様々な現象が水産業などへの影響をもたらしている(図4.1.1-1)ことから、対策等を行う際にはそれらの特性を留意した対応が必要であると考えられます。

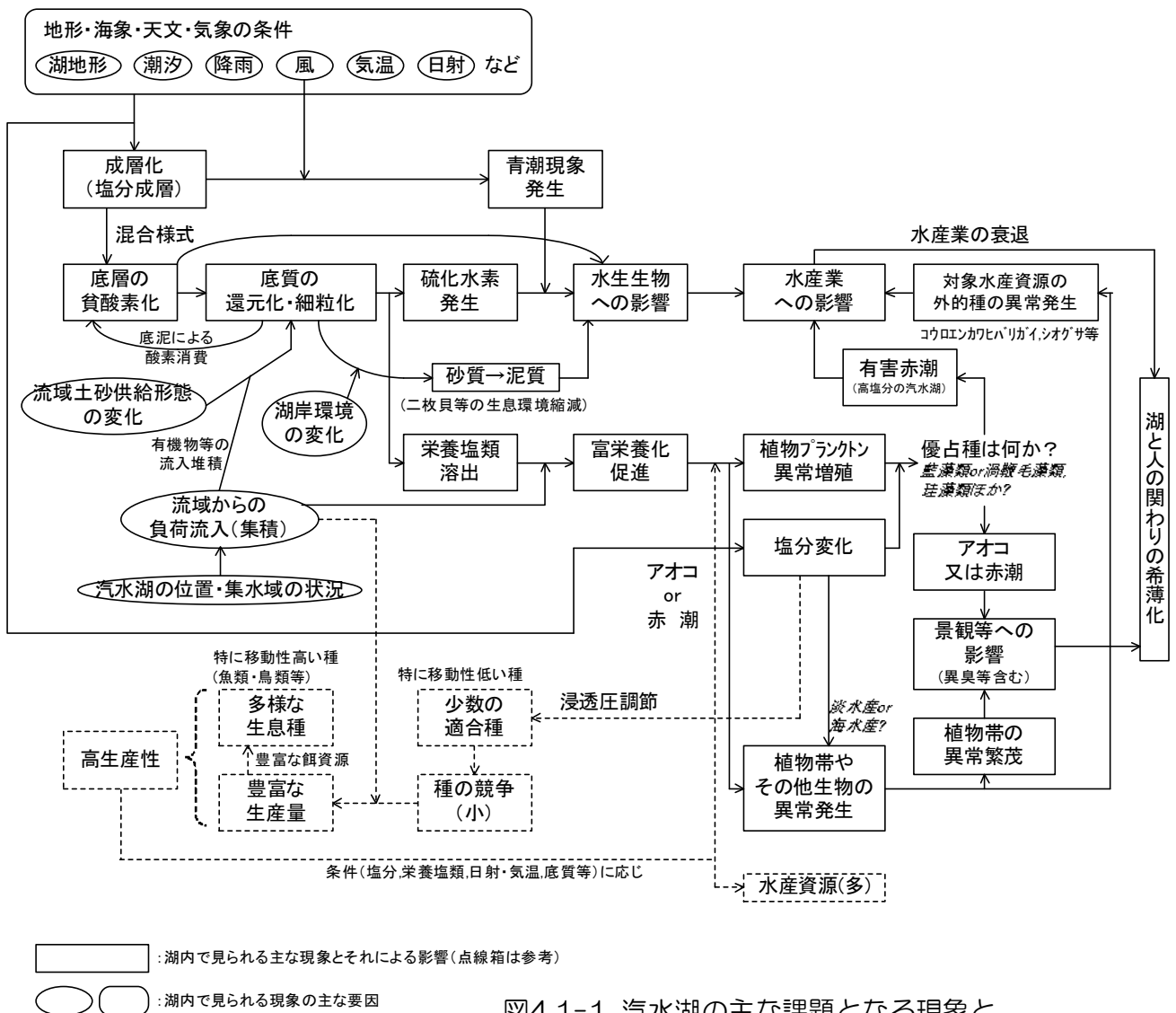


図4.1-1 汽水湖の主な課題となる現象とそれら現象に関わる要素の概念図のイメージ



[2] 汽水湖環境の課題に対する対策時の留意点 [本編p157～163参照]

汽水湖の対策を講じる際には、対象汽水湖の環境特性（塩分、混合様式、利用状況等）を踏まえ、生じている現象の因果関係を勘案しつつその実態を捉えるとともに、湖沼に関わる人々の利害関係や意見等を調整しながら課題の優先順位を決めて、対策の目的・目標を設定することが重要です。また汽水湖は人々と関わりが深い水域であり、その利用状況に応じてニーズも変わってくるのでそのニーズに応えた対応が必要です。

汽水湖環境は、その形成過程が複雑であり、わずかな環境条件の変化により様相を大きく変える可能性があることから、その目指す方向性と相反関係にある影響にも配慮するとともに、順応的に対策等を進める必要があります (図4.1-2)。

■■■ 想定される汽水湖の水環境保全に向けての取組の基本的考え方 ■■■

[本編p164～169参照]

[1] 主な課題に対する取組とその基本的考え方 [本編p164～165参照]

次ページの図4.1-3は前章「3.4 汽水湖の課題（まとめ）」（本編p146～153）で挙げた課題とそれらの課題に対して想定される汽水湖の水環境保全に向けての取組を整理したものです。取組については塩分調節や底層貧酸素化抑制、底質改善などの対策のほか、環境影響と塩分等との関係や汽水湖環境のインパクト・レスポンスの把握、モニタリング調査の実施などが挙げられます。

次ページの図4.1-3は前章「3.4 汽水湖の課題（まとめ）」（本編p146～153）で挙げた課題とそれらの課題に対して想定される汽水湖の水環境保全に向けての取組を整理したものです。取組については塩分調節や底層貧酸素化抑制、底質改善などの対策のほか、環境影響と塩分等との関係や汽水湖環境のインパクト・レスポンスの把握、モニタリング調査の実施などが挙げられます。

このような取組を進めるときに重要となるのが取組の実施に伴う効果のみならず、汽水湖環境へ及ぼすおそれのある影響の把握とその低減に努めることなどです。特に汽水湖では、湖沼環境が変化しやすい特性などから、対策実施時・事後に汽水湖環境への不確実な影響が伴うこともあります。また必要に応じて複数の対策の選択を視野に入れて検討することも必要です。

このため、対策に伴う環境変化をモニタリングで捉えつつ、その結果に応じて順応的な対応を図り、ときには対策を見直すことが必要です(図4.1-2)。対策については、可能な限り試験的な対応(パイロットケース)を行ってから現場に応用することが重要です。

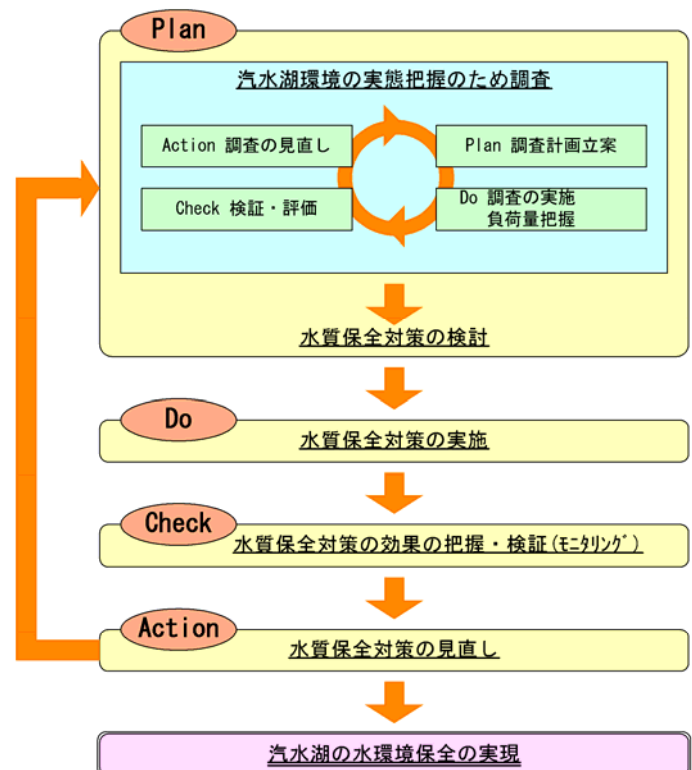


図4.1-2 汽水湖の水環境保全の実現に向けての順応的な対応のイメージ図

第4章 汽水湖の保全対策に向けて

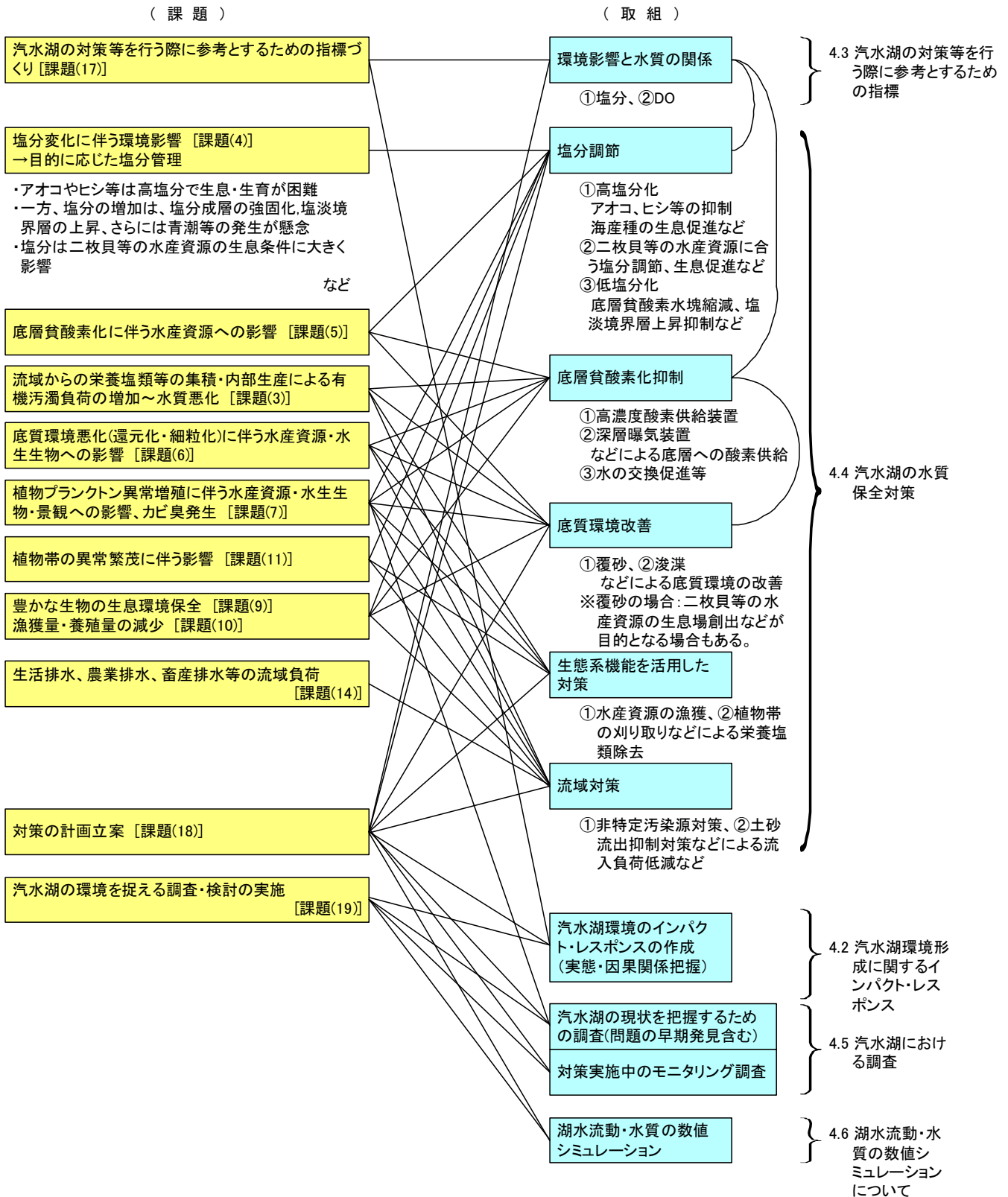


図4.1-3 汽水湖の課題と汽水湖の水環境保全に向けての取組の関係 [本編p164参照]
 ※左側の課題に記載している[]内の番号は、本編p146～153で記載している課題の番号に該当します。
 ※右側に本編で記載している項目を示します。詳細はそれらの項目を参照下さい。



4.2 汽水湖環境形成に関するインパクト・レスポンス [本編p170～174参照]

汽水湖環境変化のインパクト・レスポンスを対象汽水湖で作成し、汽水湖環境形成に影響を及ぼしている要因を把握するとともに、対策を行う際の改善ポイントを選択し、対策を行ったときどのように環境が変化するかを想定することが望ましいです。

4.3 汽水湖の対策等を行う際に参考とするための指標 [本編p175～190参照]

■■■ 汽水湖の目安の必要性 ■■■ [本編p175～176参照]

汽水湖では、水産業の維持と発展が主なニーズになっているため、水産業への影響が問題となることが多いです。このとき、汽水湖環境を大きく左右するとともに、水産資源へ与える影響が大きい塩分、硫化水素もしくは浅場における底層の溶存酸素量が重視されることが想定されます。

このことを踏まえると、汽水湖の対策を行うにあたって汽水湖環境を評価するためには、汽水湖の特性(汽水湖水質の形成過程や問題点・課題)を踏まえた汽水湖における参考の目安づくりが課題となります。

このため、本項目4.3では、汽水湖の対策を行う際の参考とするための指標について、汽水湖の特徴や文献、既往調査結果等を踏まえながら、生物の生息環境などを見据えた水質(塩分や溶存酸素量)を参考の目安として検討しました。それらの詳細は、本編p177～190を参照下さい。

＜汽水湖の対策等を行う際に参考とするための指標＞

- [1]水産資源の生産やアオコ・赤潮発生等の汽水湖環境を大きく左右する「塩分」
(本編p178～188参照)
- [2]生物の生息状況を大きく左右する浅場の「底層の溶存酸素量」(本編p189～190参照)

4.4 汽水湖の水質保全対策 [本編p191～222参照]

汽水湖の水質保全対策については、汽水湖に与える影響を踏まえると、塩分調節、底層貧酸素化抑制や底質環境改善、生態系機能を活用した対策、流域対策などが考えられます(表4.4-1、前述の図4.1-3)。なお、これらの詳細については、本編p193～222を参照下さい。

表4.4-1 汽水湖の水質保全対策一覧(本編p192参照)

種類	目的	概要
塩分調節 (本編p193～204参照)	◇アオコ発生・ヒシ繁茂抑制 ◇底層貧酸素水塊の縮減 ◇水産資源生息促進 など	◇河口部での塩分調節堰設置や湖口の改変により、塩水遡上量を調節。
底層貧酸素化抑制 (本編p205～211参照)	◇底層の貧酸素化及びそれに伴う水質、底質悪化を抑制	◇高濃度酸素供給装置や深層曝気装置を設け、成層を破壊せずに底層へ酸素を供給。 ◇また、灌筋の設置や湖口開削により水交換を促進。
底質環境改善 (本編p212～214参照)	◇底質の悪化(還元化・細粒化)や栄養塩類溶出、硫化水素発生を抑制 ◇水産資源生息場創出	◇覆砂により湖底の砂質化を図る。 ◇浚渫により還元化した堆積土の除去を図る。
生態系機能を活用した対策 (本編p215～217参照)	◇二枚貝等の懸濁物食者が有する浄化機能を活用するほか、水産資源の漁獲等により、湖内の栄養塩類等の除去 ◇植物帯の刈り取りにより有機汚濁負荷増加の抑制	◇水産資源の漁獲、植物帯の刈り取りを行うとともに、再資源化(食糧、堆肥等としての活用)も見据える。
流域対策 (本編p218～222参照)	◇流域からの流入汚濁負荷や流出土砂の削減等により、湖内の水質、底質の悪化を抑制	◇流入負荷対策(非特定汚染源対策) ◇農地等からの土砂流出抑制対策



4.5 汽水湖における調査 [本編p223～233参照]

汽水湖の環境は、塩分の変化などにより変化しやすく、その形成過程が複雑です。このことから、汽水湖固有の環境を捉えるための調査を行い、汽水湖の水環境保全を図るための基礎資料とすることが課題になります。

また、対策実施時・事後においては、モニタリング調査により対策実施に伴う環境の変化を把握しつつ、必要に応じて対策の見直しを図っていくことが重要です。

このような背景から本項目4.5では、汽水湖で生じる現象やその問題点を把握し、今後の対策に資する目的を見据え、想定される汽水湖における調査の考え方を「[1]汽水湖の環境を捉えるための調査」、「[2]対策効果を捉えるためのモニタリング調査」に分けて本編を整理しました。

詳細については、**本編p223～233**を参照下さい。

4.6 湖水流動・水質の数値シミュレーションについて [本編p234～239参照]

数値シミュレーションは、対策を講じる際の効果（汽水湖環境の変化）や湖沼の環境現象の因果関係等を把握する手段の一つになります。ただし、そこで得られた結果は不確実性を伴うことが十分考えられます。また数値シミュレーションは、影響に大きく関わる実現象（例えば成層の状態など）の再現性確保や生じている現象の形成過程を適切にモデルに組み込むことが必要です。

このような背景を踏まえ、数値シミュレーションを行う際には、次のような点に留意しながら検討を進める必要があると考えられます（詳細については、**本編p234～239**を参照下さい）。

- モデルを構築するに先立って実測などで経験的に得られている量や評価から四則計算で行える程度の概略的に定量的な見積を行うことが必要です。
- 数値シミュレーションの計算結果の解釈では、誤差（計算値と実測値や概略的な見積の結果との差）の範囲を想定しておき、結果を示すときにもその範囲を併記することも必要です。
- 計算結果を過信せず、必ずモニタリング調査により対策実施中・事後の状況を把握しつつ、その状況に応じた順応的対応を図ることも重要です。

など

4.7 今後の汽水湖の保全対策の推進に向けて [本編p240～241参照]

汽水湖環境が形成される仕組みは複雑であるという特性から、その実態を把握するには、多くの調査・研究が必要であり、現時点では必ずしも十分な知見が蓄積されているとはいえません。また汽水湖における水質保全の対策についても、十分に効果のある取り組みが実施されているとはいえず、具体的な対策効果等についての知見も不足している状況があります。

このような背景から、今後の汽水湖における保全対策のより一層の推進を図っていくためには、汽水湖環境形成の仕組みに関する知見の調査・蓄積、対策実施時・事後のモニタリング調査に基づく効果等の定量的なデータなどの蓄積を図るとともに、他の汽水湖での参考事例になるようこれらの知見等が全国的に共有されることが重要であると考えられます。

さらに今後の調査推進のためには、より正確かつ効率的な調査手法の改良・開発に取り組んでいくことも重要です。



■■■ 汽水湖調査検討会 ■■■

本資料については、学識経験者から成る「汽水湖調査検討会」により客観的かつ幅広い専門的知識に基づいた指導・助言を得ながらとりまとめました。

「汽水湖調査検討会」委員

氏名 (敬称略)	職名	所属
浅枝 隆	教授	埼玉大学理工学研究科 環境科学・社会基盤部門 環境科学領域
神谷 宏	環境科学部長	島根県保健環境科学研究所 環境科学部
中村 由行	教授	横浜国立大学都市イノベーション研究院
福島 武彦	教授	筑波大学 生命環境系 環境バイオマス共生学専攻
三上 英敏	研究主幹	地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 環境・地質研究本部 環境科学研究センター 環境保全部 情報・水環境グループ
山室 真澄 (座長)	教授	東京大学大学院 新領域創成科学研究科

※五十音順、敬称略

※所属・職名は平成26年3月当時のもの

■■■ 問い合わせ先 ■■■

環境省水・大気環境局水環境課

〒100-8975 千代田区霞が関1-2-2

TEL: 03-3581-3351 (代表) FAX: 03-3593-1438

URL: <http://www.env.go.jp/>

※本資料について、無断引用・転載複製は著作権法上での例外を除き、禁じられています。