

令和元年度

中海の水質及び流動会議
及び中海・覆砂検討ワーキンググループ

報 告 事 項

令和元年8月6日

1 平成30年度の中海の水質測定結果

(1) 環境基準等の達成状況 (図1-1, 図1-2)

環境基準点12地点における水質測定結果 (COD (化学的酸素要求量)、全窒素及び全りん)

- 第6期湖沼水質保全計画で定めた水質目標について、CODは目標値を達成。全窒素及び全りんは未達成。
- ただし、全窒素は9地点で目標値を達成。全りんは10地点で目標値を達成。
- 環境基準値はいずれも未達成。

図1-1 中海の環境基準点の位置図

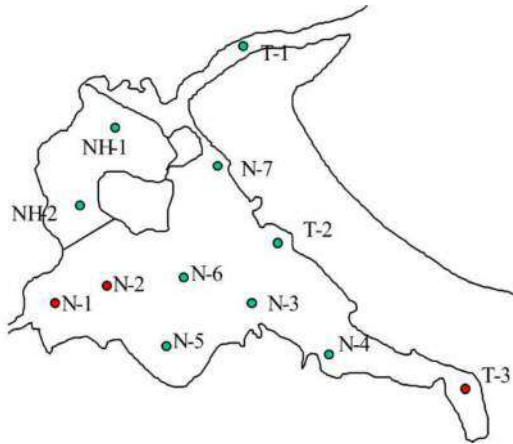
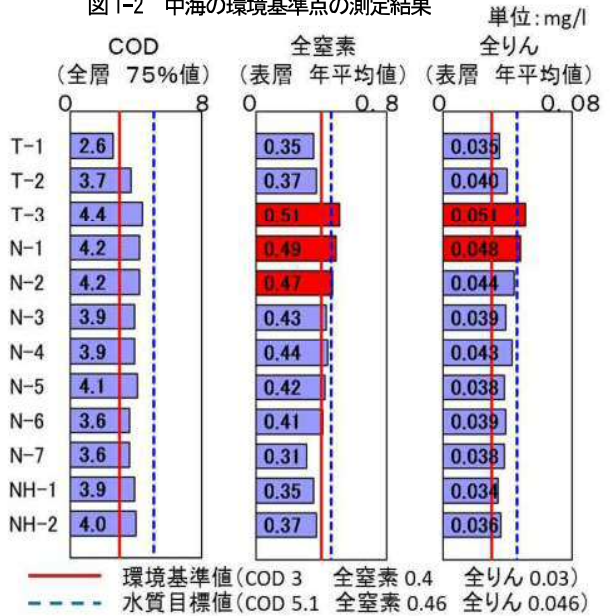


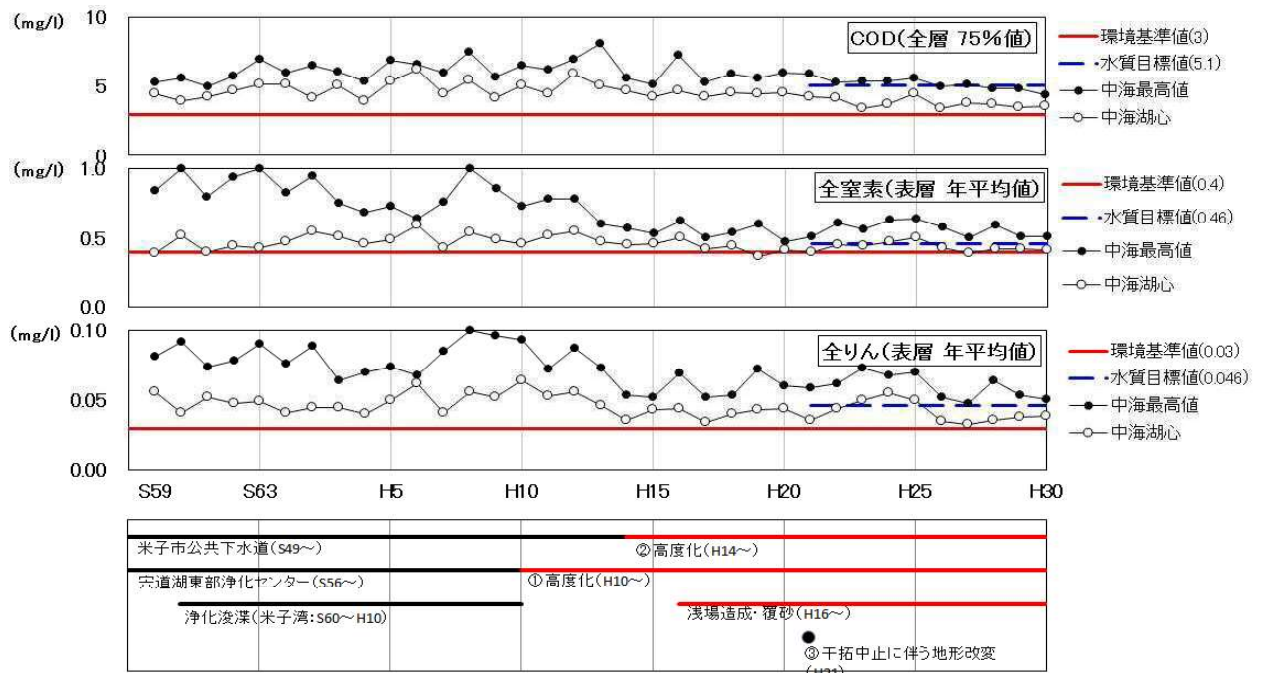
図1-2 中海の環境基準点の測定結果



(2) 経年変化 (図1-3)

- CODは、最高値が昭和59年以降でもっとも低い値であった。湖心は過去5年の変動の範囲内で低めの値で推移した。
- 全窒素は、最高値が昨年度と同じで、湖心は昨年度より低下したものの過去5年の変動の範囲内であった。
- 全りんは、最高値が昨年度より低下し、湖心は昨年度より上昇したものの過去5年の変動の範囲内であった。

図1-3 中海の水質の経年変化

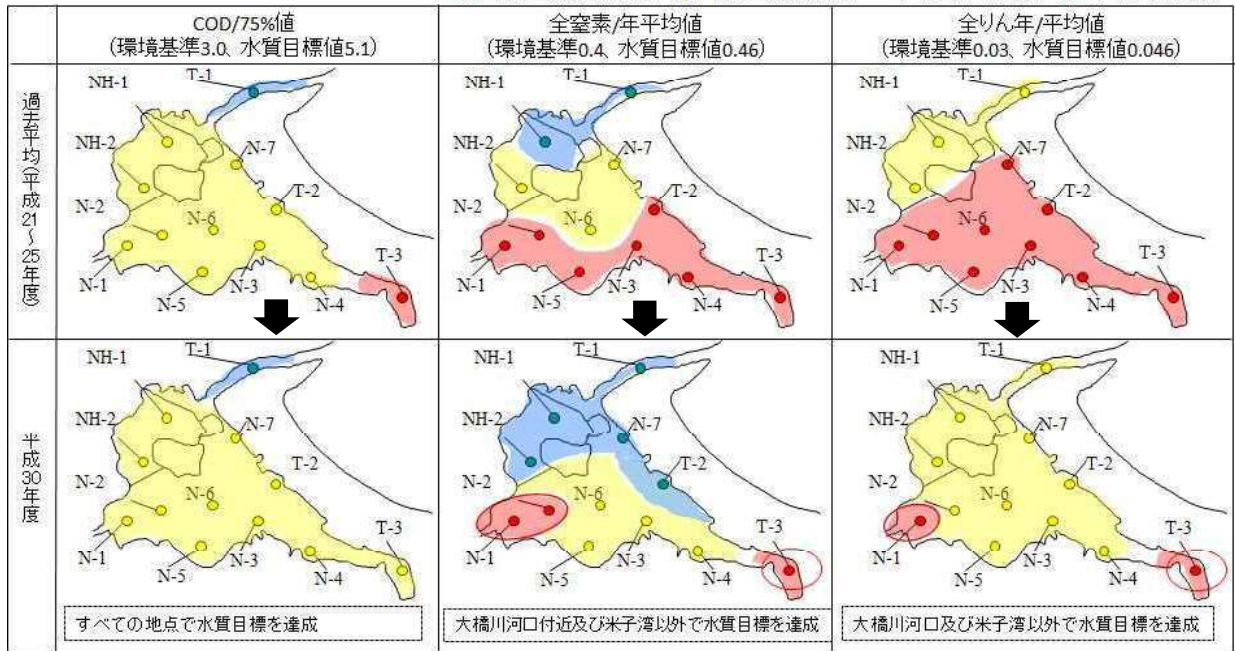


※ 湖心部、米子湾の水質に対して、全窒素、全りんについては①の前後、②の前後で水質が改善。③の前後では、大きな傾向変化は見られず、下水道の整備および高度処理化による水質改善が大きく寄与していると考えられる。

備考: 「最高値」とは環境基準点のうち、各年度において最も高い地点の値。

(参考) 中海の地点別水質経年変化比較

●:水質目標値未達成 ●:水質目標値達成だが環境基準未達成 ●:環境基準達成



※ 図中の着色は、各地点の水質を次の区分で分類した場合における中海全体の水質を概念的に表したもの

(赤:水質目標値未達成、黄:水質目標値達成かつ環境基準未達成、青:環境基準達成)

(3) 赤潮の発生状況(図1-4, 図1-5)

○平成30年の赤潮確認範囲は、安来承水路および錦海地区における局地的なものであった。

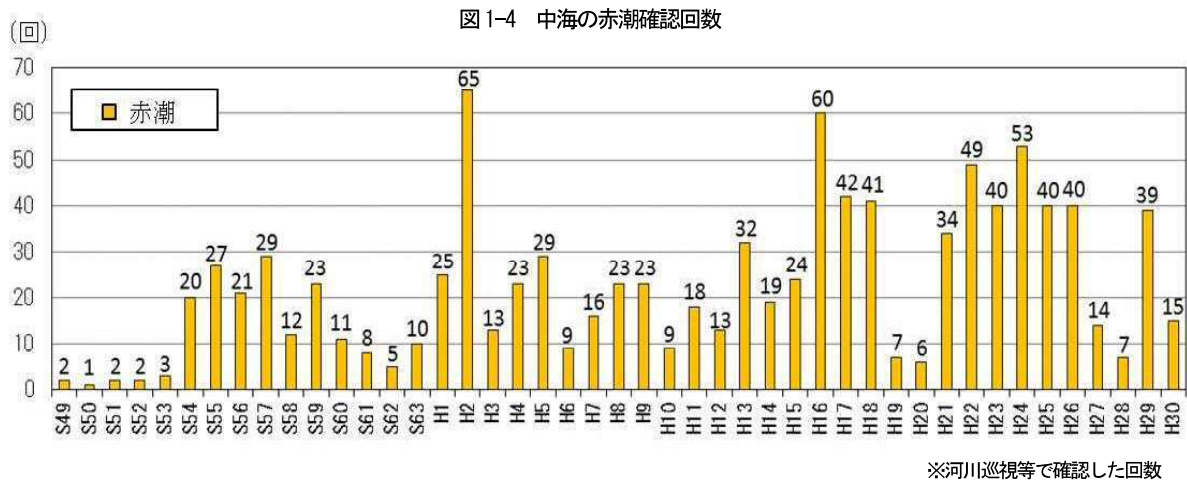


図1-5 中海の赤潮発生範囲図

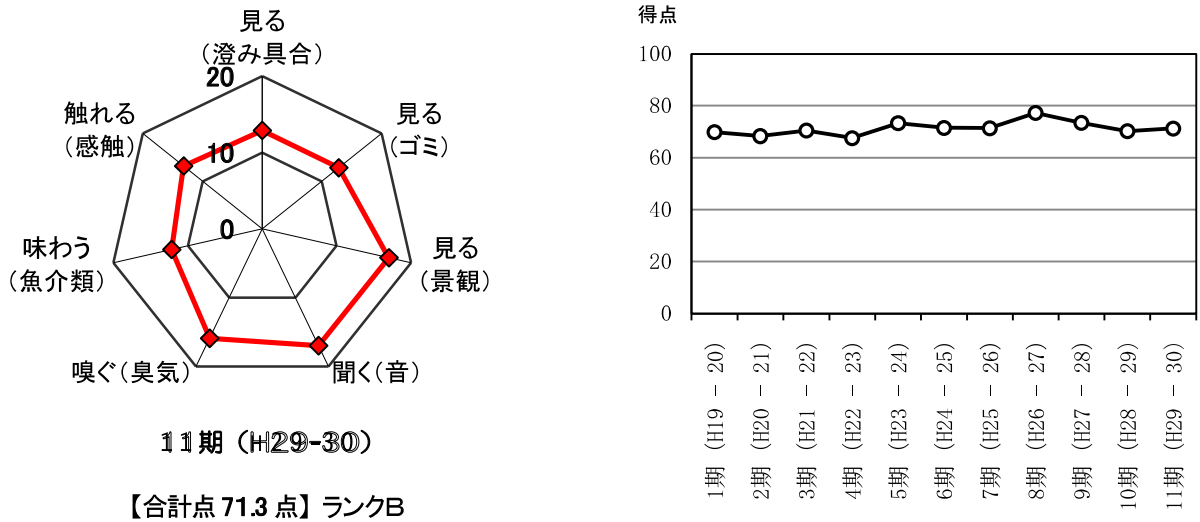


※着色は赤潮が確認された範囲を示す

(4) 五感による湖沼環境調査結果 (図 1-6)

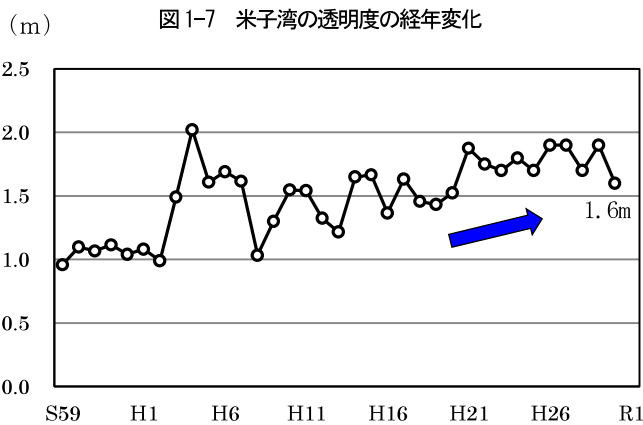
- 住民に親しみやすく分かりやすい環境指標として「五感による湖沼環境調査」を両県 12 地点で実施。
- 平成 29 年 10 月～平成 30 年 9 月期は地域住民がモニターとして 38 名、6 団体が参加。
- 平成 29 年 10 月～平成 30 年 9 月期は平均が 71.3 点、目標とする 80 点以上の地点は 1 地点。
- 経年変化を見ると、得点は概ね横ばい。

図 1-6 今期の五感指標の結果及び経年変化 (中海全体)



(5) 米子湾における透明度 (図 1-7)

- レクリエーション等で多くの人が集まる機会があり、水質改善の必要性が高い米子湾において評価。
- 平成 30 年度の年度平均値は 1.6m (目標値: 概ね 2m)。



2 湖沼水質保全計画の進捗状況

第6期湖沼水質保全計画（平成26～30年度）において、平成30年度までに達成すべき目標を定めている各種施策は、一部事業を除き、概ね計画どおりであった。

(1) 生活排水対策

生活排水に係る汚濁負荷量の削減対策は重要項目であるため、施設の整備及び高度処理化を進めている。

図2-1 生活排水処理施設の整備状況（島根県）

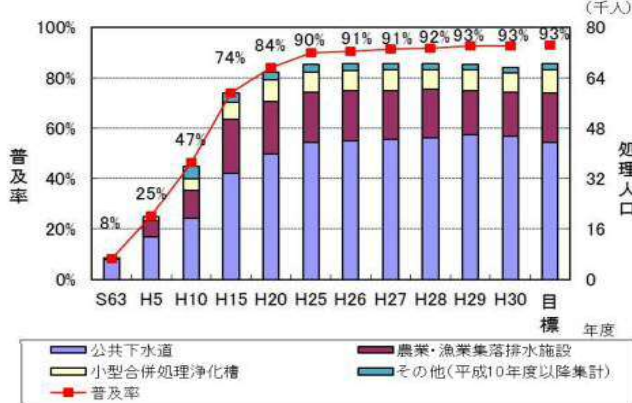
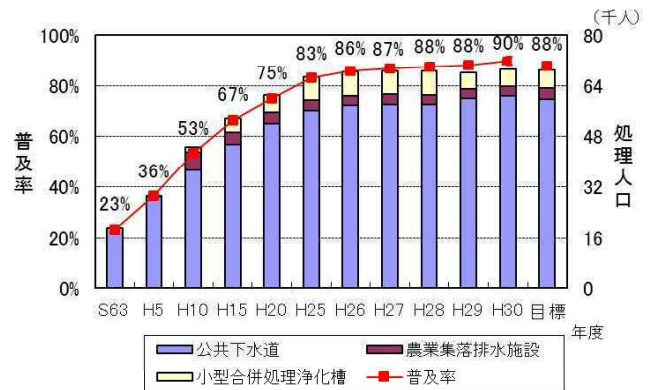


図2-2 生活排水処理施設の整備状況（鳥取県）



(2) 流出水対策（図2-3、図2-4）

代表的な対策として、農業地域対策、市街地対策、自然地域対策、流入河川直接浄化対策などを実施している。

図2-3 流出水対策の進捗状況（島根県）

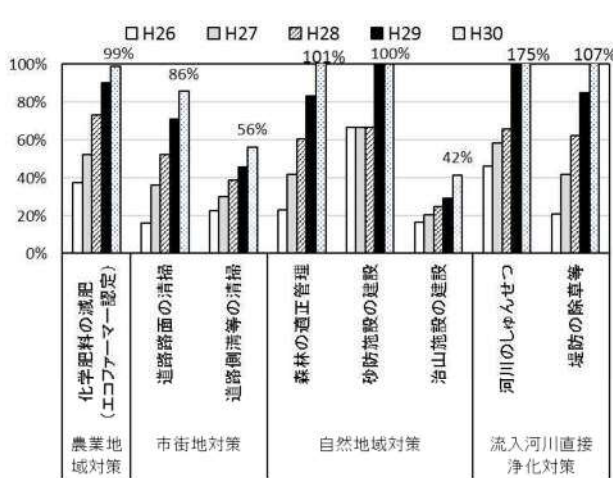
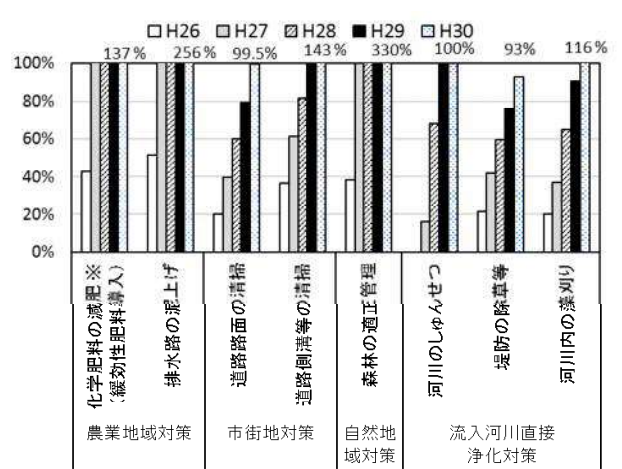


図2-4 流出水対策の進捗状況（鳥取県）



注1) H30年度までの累計目標事業量を100%とする。

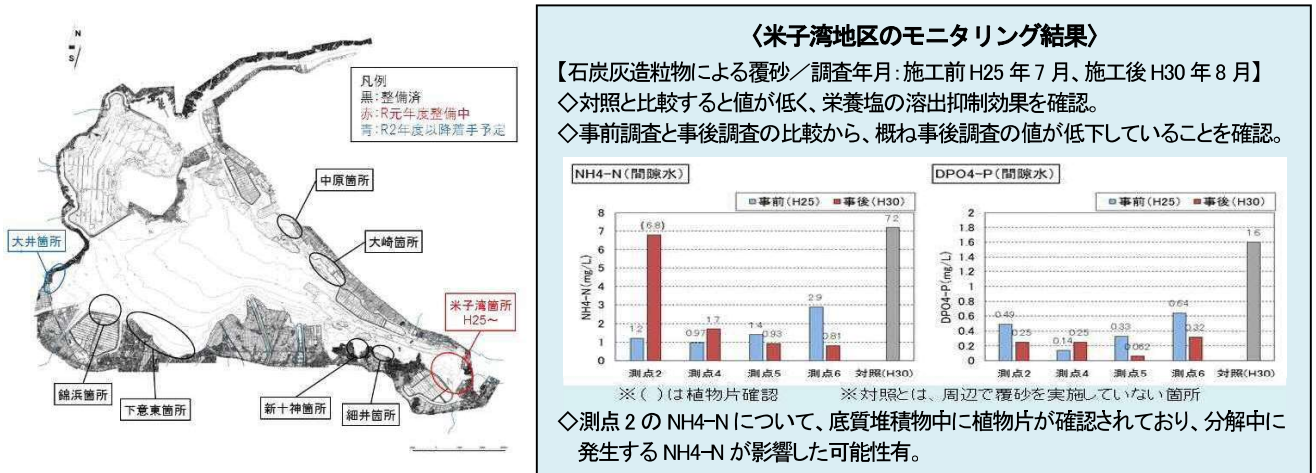
注1) ※は、累積評価が難しいため、単年度実績で評価。
 その他は、H30年度までの累計目標事業量を100%とする。
 注2) 数値化が可能な事業を抜粋（急傾斜地崩壊防止施設建設は、現在、地元関係者とも調整しながら、詳細設計、対策工事を実施している。）

3 湖内対策

(1) 浅場造成・覆砂 (図 3-1)

○湖岸前面の沿岸部において、波浪による巻き上がりを防ぎ、透明度の向上を図るとともに、生物の生息・生育・繁殖環境の再生による湖の自然浄化機能の回復を目指し、浅場の造成や覆砂に取り組んでいる。

図 3-1 浅場造成・覆砂の実施状況及び米子湾地区のモニタリング結果



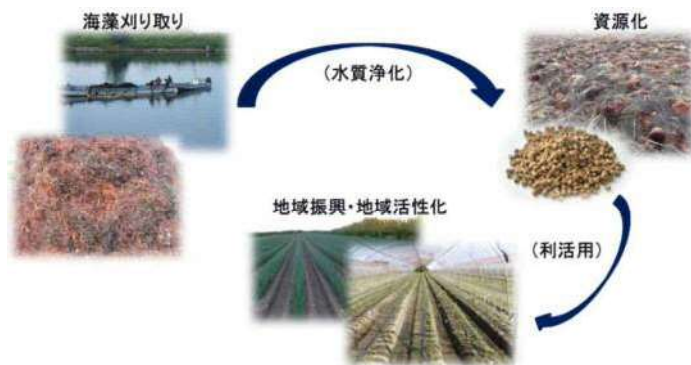
※事業着手以降 (H16~) の整備延長 : 14.4km、整備済 : 10.1km (H30年度末時点)
 … 現地の状況により、整備範囲を変更する場合がある
 ※総合水系環境整備事業 (負担割合 : 国1/2、県1/2)

(2) 中海の海藻の利活用の状況

○中海の海藻を刈り取り、湖外搬出することで栄養塩である窒素及びリンを湖外に持ち出すことができ、また、その海藻を肥料等に利活用することで、産業振興及び地域活性化に繋がる。このため、平成23年度から島根・鳥取両県では、栄養塩の循環システムのモデル構築を目指し、取組団体へ支援を行ってきた。その後、事業者主体の事業展開に移行した。

○平成23~30年度までの2団体による海藻回収量は2,177 tで、窒素4,548kg、リン355kgが湖外に持ち出されたことになる (中海へ流入する生活系負荷量の約5.2日分に相当)。

○令和元年度、鳥取県では海藻を持続的に利活用するための資源管理や付着生物の調査を取組団体と協力しながら進める。



1 はじめに

平成 28 年中海会議での議論により、水質等の改善に繋がる「覆砂対策（窪地対策を含む）」を検討するため、国と島根・鳥取両県の関係課で構成するワーキンググループ（WG）を設置した。

このWGでは、過去の覆砂対策の経緯やその実施に関する情報を整理するとともに、中海における水質改善につながる覆砂対策の可能性を探ることを目的とし、検討を進めた。

2 検討結果

(1) 水質面の検討（底質が中海の水質等に与える影響と程度）

(ア) 中海の現状とこれまでの湖内対策

中海は塩分濃度差による上下2層構造の汽水湖であり、それが容易に混合することはない。

このため、表層からの酸素供給が起こりにくい底層（水深約4m以深）は、夏季を中心にほぼ全域で貧酸素化し、湖底から窒素やリンが溶出する。【図1】

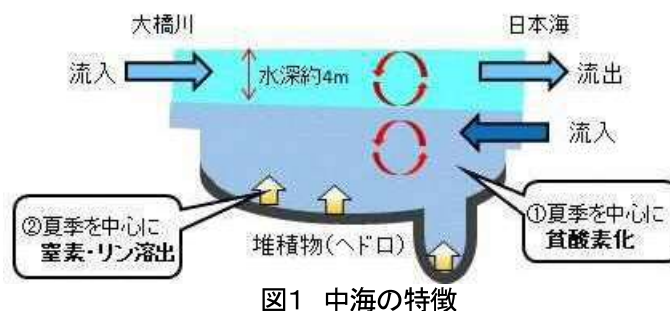
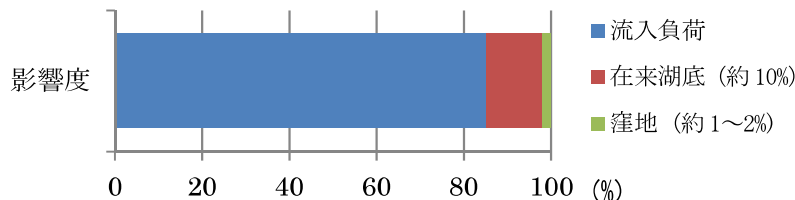


図1 中海の特徴

湖内対策（底質対策）として、国土交通省により試験的に窒素やリンなどの溶出抑制を目的とする浚渫窪地の覆砂等が行われた（H12 年度～H15 年度）が、効果の持続性に課題があったことから、近年は効果の持続性が期待でき、同時に自然浄化機能の回復を目指して、沿岸部において浅場造成・覆砂が進められている。

(イ) 各負荷源が水質に与える影響の推定

島根・鳥取両県が行った水質シミュレーションでは、中海表層水の窒素・りん濃度への影響は、流入負荷によるものが大きく、底質によるものは約10%、窪地によるものは1～2%程度と小さいことが示された。【図2】



※水質シミュレーションは、湖沼計画の将来水質予測に用いたシミュレーションモデルを改良したものを使用して、平成24年の気象条件等をあてはめて実施

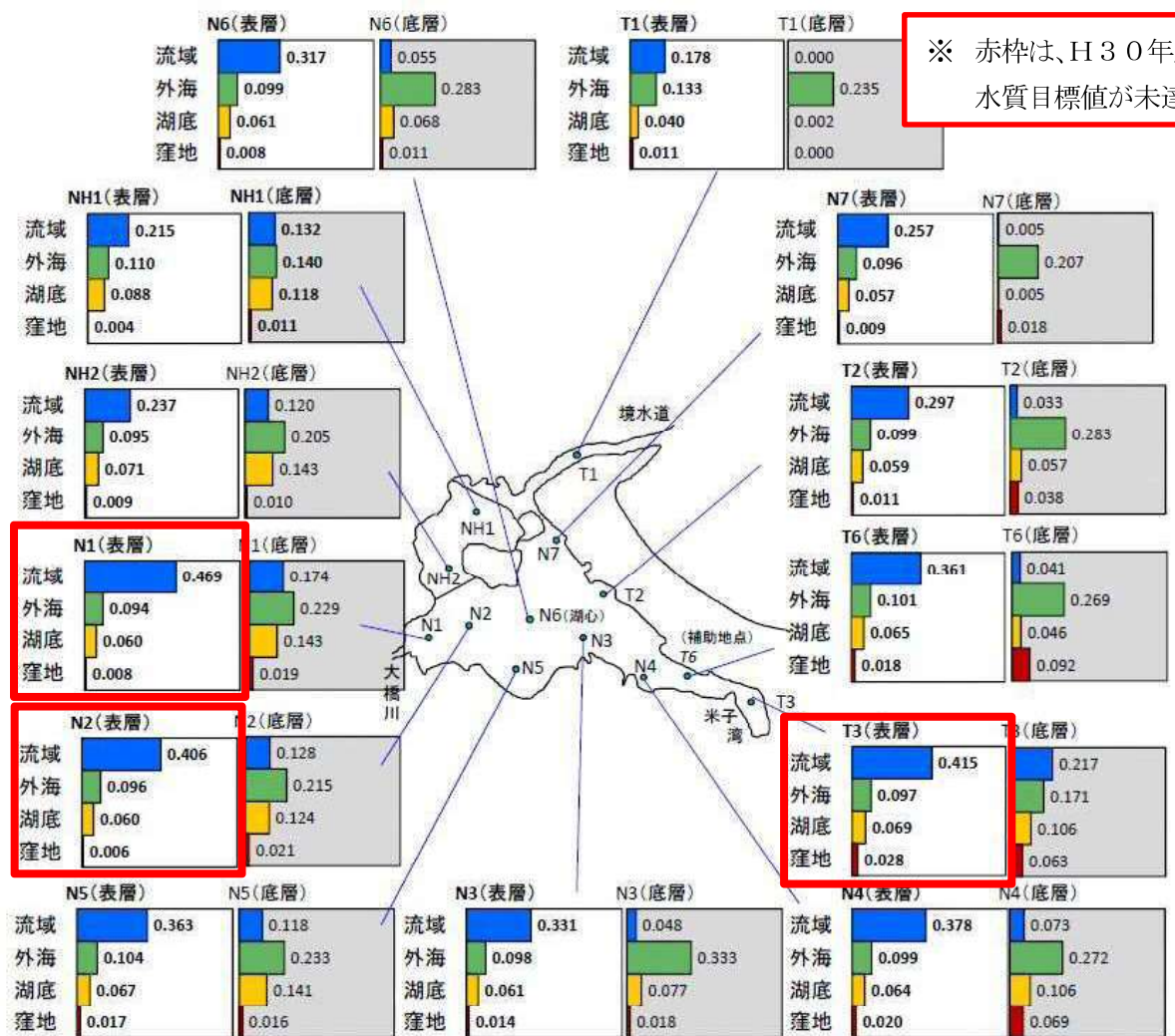
図2 表層水質への負荷源ごとの影響度(中海全体)

また、環境基準点等の地点別の水質に与える各負荷源の影響を詳細に分析するため、条件を見直して水質シミュレーションを実施したところ、各地点の水質は、流域や外海からの影響が大きく、湖底、窪地の順に影響は小さくなる傾向が見られた。

米子湾（T3）では、流域からの影響度が表層で大きくなる傾向が見られた。また、窪地が水質項目に与える影響は小さいが、他地点に比べて相対的に高い傾向が見られた。

<全窒素【図3】>

表層	<ul style="list-style-type: none"> 流域の影響は0.178～0.469mg/L、外海の影響は0.094～0.133mg/L、湖底の影響は0.040～0.088mg/L、窪地の影響は0.004～0.028mg/Lであり、窪地からの影響は小さい。 米子湾（T3）では、流域の影響（0.415 mg/L）が最も大きく、湖底の影響は0.069mg/L、窪地の影響は0.028 mg/L（4.6%（全体平均2.5%））を占め、窪地からの影響は小さいが他地点と比較すると相対的に大きい。
底層	<ul style="list-style-type: none"> 流域の影響は0.000～0.217mg/L、外海の影響は0.140～0.333mg/L、湖底の影響は0.002～0.143mg/L、窪地の影響は0.000～0.092mg/Lであり、窪地からの影響は小さい。 米子湾（T3）では、流域の影響は0.217 mg/L、湖底の影響は0.106mg/L、窪地の影響は0.063 mg/L（11.3%（全体平均6.5%））を占め、窪地からの影響は小さいが他地点と比較すると相対的に大きい。



※単位:mg/L
 ※水質シミュレーションは、湖沼計画の将来水質予測に用いたモデルを改良し、平成24年度の気象条件等を当てはめ実施したもの

図3 負荷源ごとの水質への影響（全窒素）

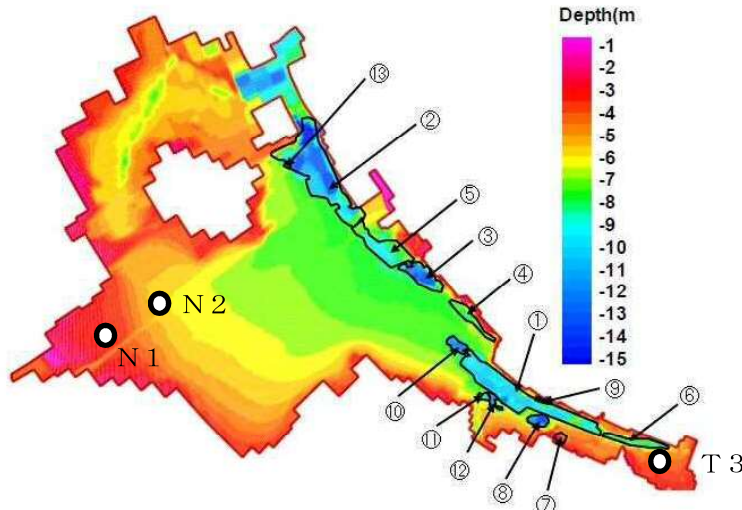
※ 底層について、いずれの水質項目も外海の影響が大きい、これは海水にも一定量のCOD、全窒素、全リンが含まれており、潮汐により境水道を通じて浸入する海水が中海底層の多くを占めているため。

新たな報告内容

平成30年度に全窒素の水質目標値を達成しなかった地点（N1、N2、T3）に着目し、個々の窪地等が水質（全窒素）に与える影響について検討した。【図4】

その結果、環境基準の適用する表層については、N1とN2に最も影響が大きい窪地は窪地②で0.003 mg/L（約0.5%）、T3に最も影響が大きい窪地は窪地①で0.010 mg/L（約1.6%）であることが分かった。

また、環境基準の適用しない底層については、N1とN2に最も影響が大きい窪地は窪地②で0.008 mg/L（約1.4%、約1.6%）、T3に最も影響が大きい窪地は窪地①で0.026 mg/L（約4.7%）であることが分かった。



中海の湖底掘削量(S38以降)

No.	地点名	掘削量	
		面積 m2	土量 m3
①	彦名沖	1,984,000	6,724,000
②	弓浜干拓沖	2,748,000	14,169,000
③	葭津	458,000	2,740,000
④	大崎沖北	371,000	936,000
⑤	米子空港沖	638,000	1,274,000
⑥	八尋鼻沖	261,000	973,000
⑦	細井沖	78,000	416,000
⑧	高留鼻沖	101,000	798,000
⑨	油壺鼻沖東	200,000	328,000
⑩	大崎沖南	667,000	1,816,000
⑪	油壺鼻沖北	180,000	195,000
⑫	油壺鼻沖南	221,000	405,000
⑬	江島沖	40,000	126,000
	合計	7,947,000	30,900,000

注）本資料は、出雲河川事務所において河川法申請図書や、湖底地形図を元に算出したもので、関係機関等への確認を行ったものではなく、参考値である。

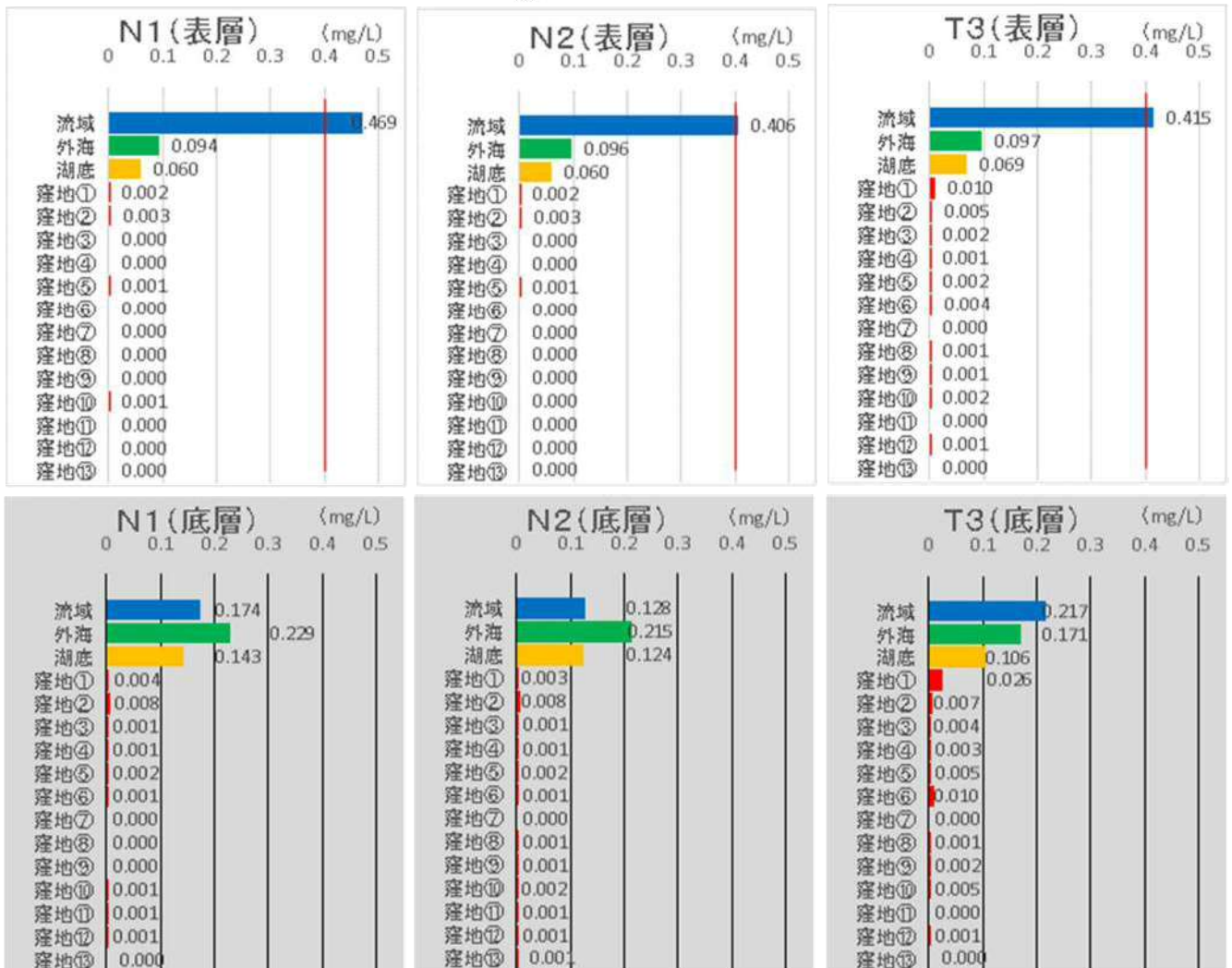


図4 負荷源ごとの水質への影響（全窒素）

<全リン【図5】>

表層	<ul style="list-style-type: none"> 流域の影響は0.013～0.033mg/L、外海の影響は0.017～0.027mg/L、湖底の影響は0.007～0.011mg/L、窪地の影響は0.000～0.005mg/Lであり、窪地からの影響は小さい。 米子湾（T3）では、流域の影響（0.031 mg/L）が最も大きく、湖底の影響は0.010mg/L、窪地の影響は0.005 mg/L（8.2%（全体平均2.5%））を占め、窪地からの影響は小さいが他地点と比較すると相対的に大きい。
底層	<ul style="list-style-type: none"> 流域の影響は0.000～0.018mg/L、外海の影響は0.028～0.071mg/L、湖底の影響は0.000～0.021mg/L、窪地の影響は0.000～0.008mg/Lであり、窪地からの影響は小さい。 米子湾（T3）では、流域の影響は0.017 mg/L、湖底の影響は0.015mg/L、窪地の影響は0.007 mg/L（9.9%（全体平均4.3%））を占め、窪地からの影響は小さいが他地点と比較すると相対的に大きい。

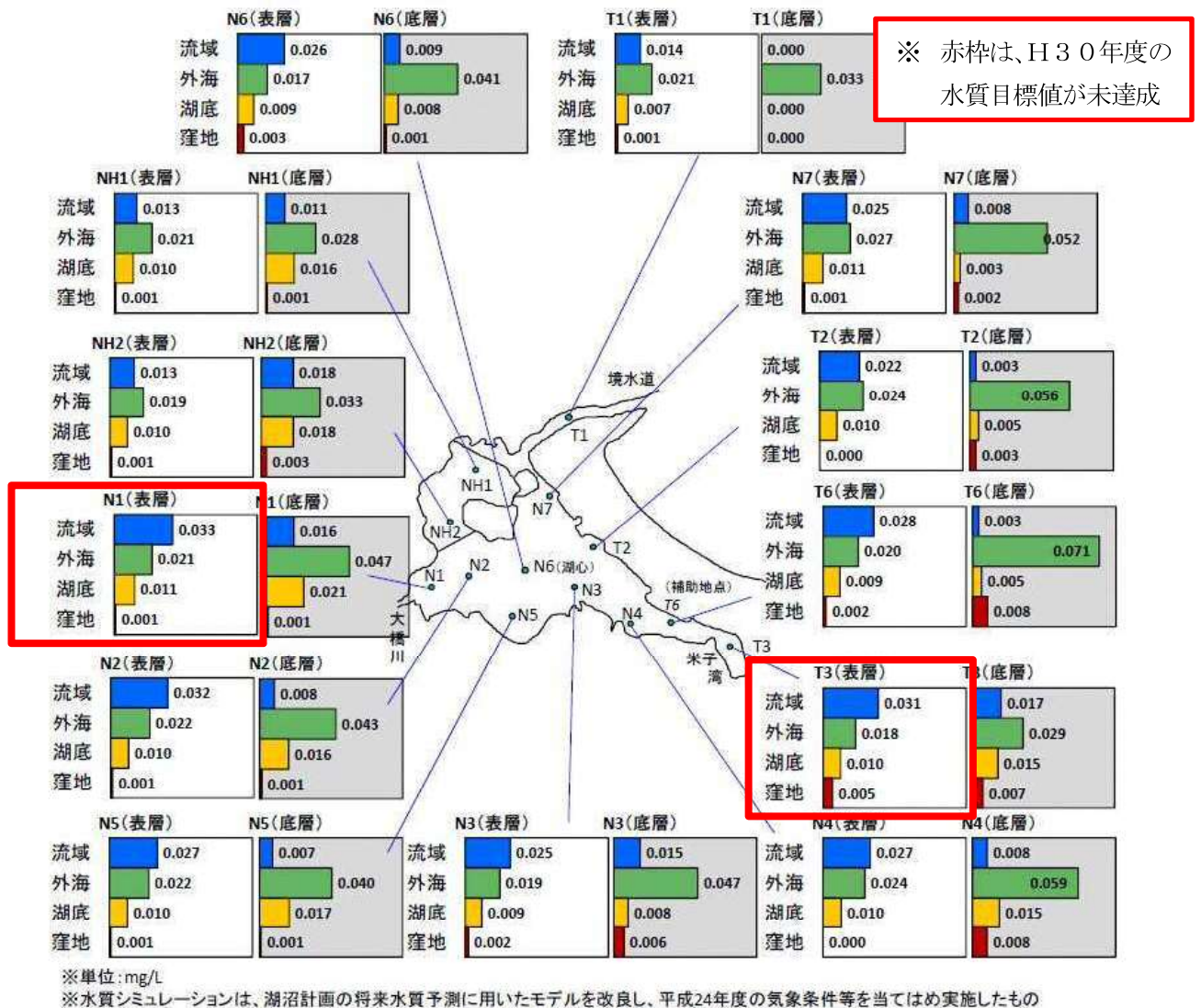


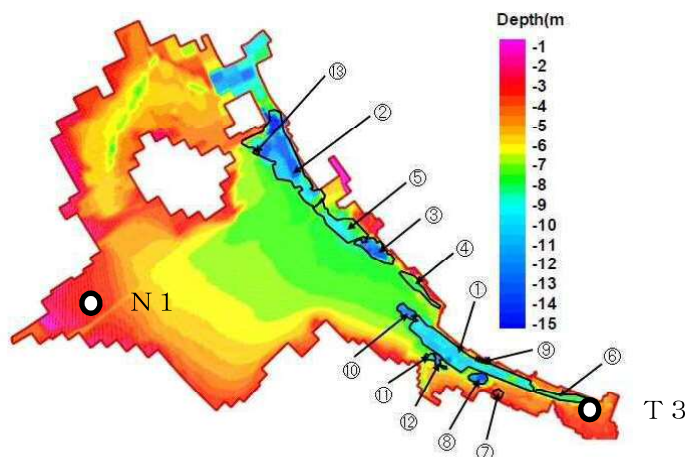
図5 負荷源ごとの水質への影響（全リン）

新たな報告内容

平成30年度に全りんの水質目標値を達成しなかった地点（N1、T3）に着目し、個々の窪地等が水質（全りん）に与える影響について検討した。【図6】

その結果、環境基準の適用する表層については、N1に最も影響が大きい窪地は窪地②で0.001 mg/L（約1.5%）、T3に最も影響が大きい窪地は窪地①で0.002 mg/L（約3.0%）あることが分かった。

また、環境基準の適用しない底層については、N1に最も影響が大きい窪地は窪地②で0.001 mg/L（約1.2%）、T3に最も影響が大きい窪地は窪地①で0.002 mg/L（約2.9%）であることが分かった。



中海の湖底掘削量(S38以降)

No.	地点名	掘削量	
		面積 m ²	土量 m ³
①	彦名沖	1,984,000	6,724,000
②	弓浜干拓沖	2,748,000	14,169,000
③	霞津	458,000	2,740,000
④	大崎沖北	371,000	936,000
⑤	米子空港沖	638,000	1,274,000
⑥	八尋鼻沖	261,000	973,000
⑦	細井沖	78,000	416,000
⑧	高留鼻沖	101,000	798,000
⑨	油壺鼻沖東	200,000	328,000
⑩	大崎沖南	667,000	1,816,000
⑪	油壺鼻沖北	180,000	195,000
⑫	油壺鼻沖南	221,000	405,000
⑬	江島沖	40,000	126,000
	合計	7,947,000	30,900,000

注) 本資料は、出雲河川事務所において河川法申請図書や、湖底地形地図を元に算出したもので、関係機関等への確認を行ったものではなく、参考値である。

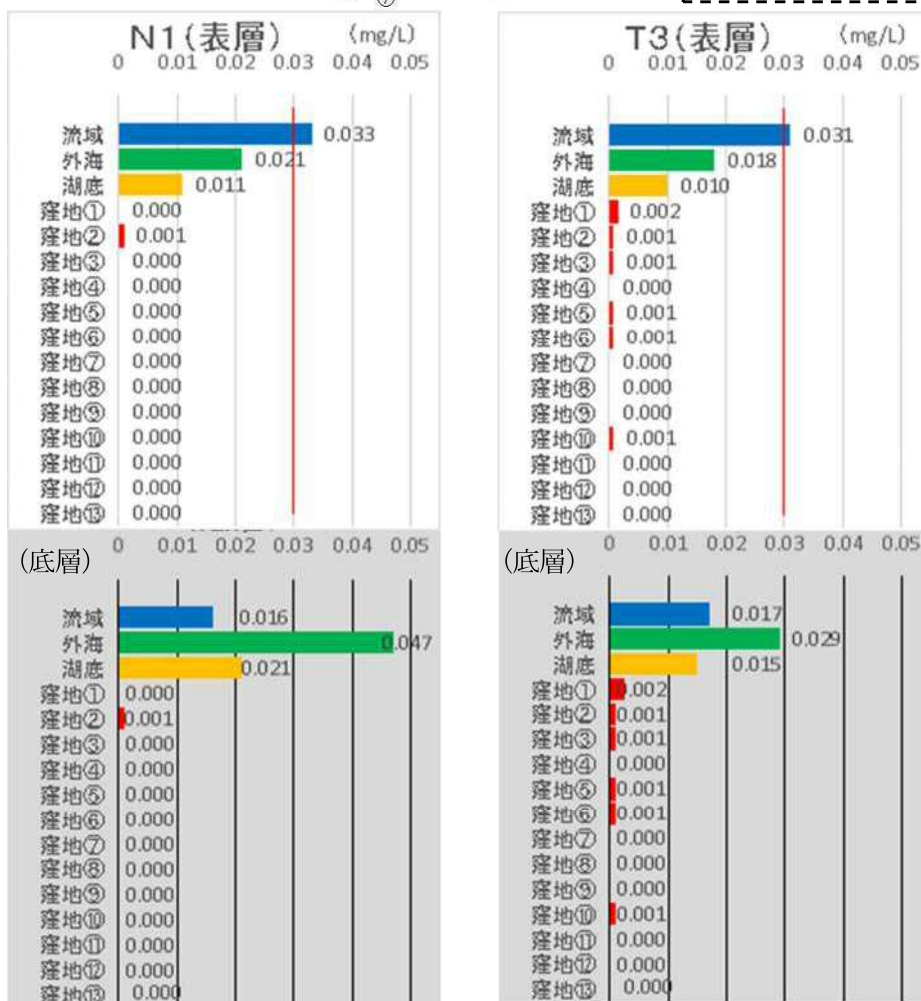


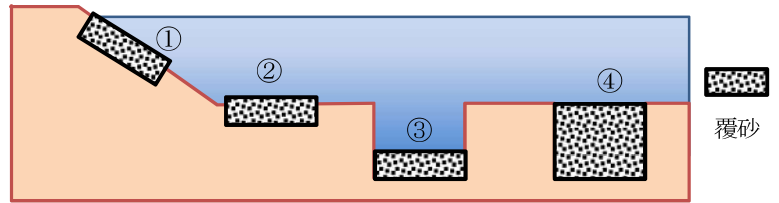
図6 負荷源ごとの水質への影響（全りん）

- 水質目標値（全窒素、全りん）が未達成の地点に注目して分析したところ、以下のことが明らかになった
- ・ 影響が大きい窪地は窪地①や窪地②であるが、流域の影響等と比べて、各窪地の影響度は非常に小さい
 - ・ 環境基準が適用される表層への影響は、底層（環境基準の適用なし）への影響に比べて小さい

(2) 中海における底質対策手法の整理

(ア) 底質対策（覆砂）の手法の整理

底質対策の手法として、「①浅場造成・覆砂」、「②深場覆砂」、「③窪地覆砂」、「④窪地埋戻し」について、効果と持続性を比較検討したが、それぞれの手法で発現する効果と持続性が異なり、地形や流動によっても持続性が異なることが考えられ、現段階では対策手法の順位付けには至っていない。【図7、表1】



①浅場造成、②深場覆砂、③窪地覆砂、④窪地埋戻し

図7 手法種類／模式図

表1 底質対策手法の概要

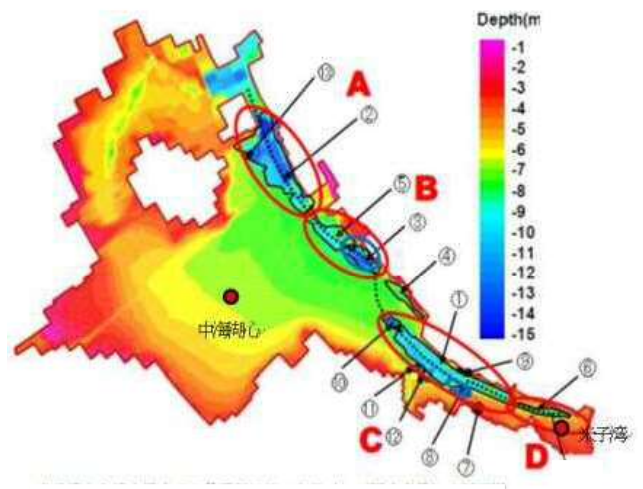
対策手法	水域区分	施工種類	メリット・デメリットの比較／特記事項			
			効果	効果の持続性	土砂の必要量	その他
①浅場覆砂	浅い水域 (4 m以浅)	一定の厚さで砂を敷く(数十 cm程度)	・透明度の上昇 ・新たな生物生息の場となる可能性	○	○(小)	現在国土交通省が実施中
②深場覆砂	深い水域 (現形地形／4 m以深)	同上	・栄養塩溶出の抑制 ・貧酸素水塊の縮小	△	○(小)	
③窪地覆砂	深い水域 (浚渫窪地)	同上	・栄養塩溶出の抑制 ・貧酸素水塊の縮小	×	○(小)	過去に国土交通省が実施したが、持続性が乏しいため浅場造成・覆砂に移行
④窪地埋戻し	同上	窪地を埋め戻し、通常地形に近いものに改変	・栄養塩溶出の抑制 ・貧酸素水塊の縮小	△	×(大)	
共通事項			・土砂の調達及び施工には、一定の費用がかかる			

(イ) 底質対策手法の検討（窪地対策が水質へ与える影響）

<シミュレーション1：昨年度報告事項>

水質シミュレーションにより、右図中B、C、Dの範囲の全ての窪地形状箇所を「埋戻し：ケースI」、「薄層覆砂：ケースII」を実施した場合と現況の水質を比較した。【図8】

- ケースI及びケースIIともに現況水質に対する改善効果は確認されたが、その効果は小さかった。
- 米子湾は、全窒素・全りんともに湖心に対して相対的に改善効果が大きい結果となったが、環境基準を満たすところまでは改善しないという結果になった。



<シミュレーション2>

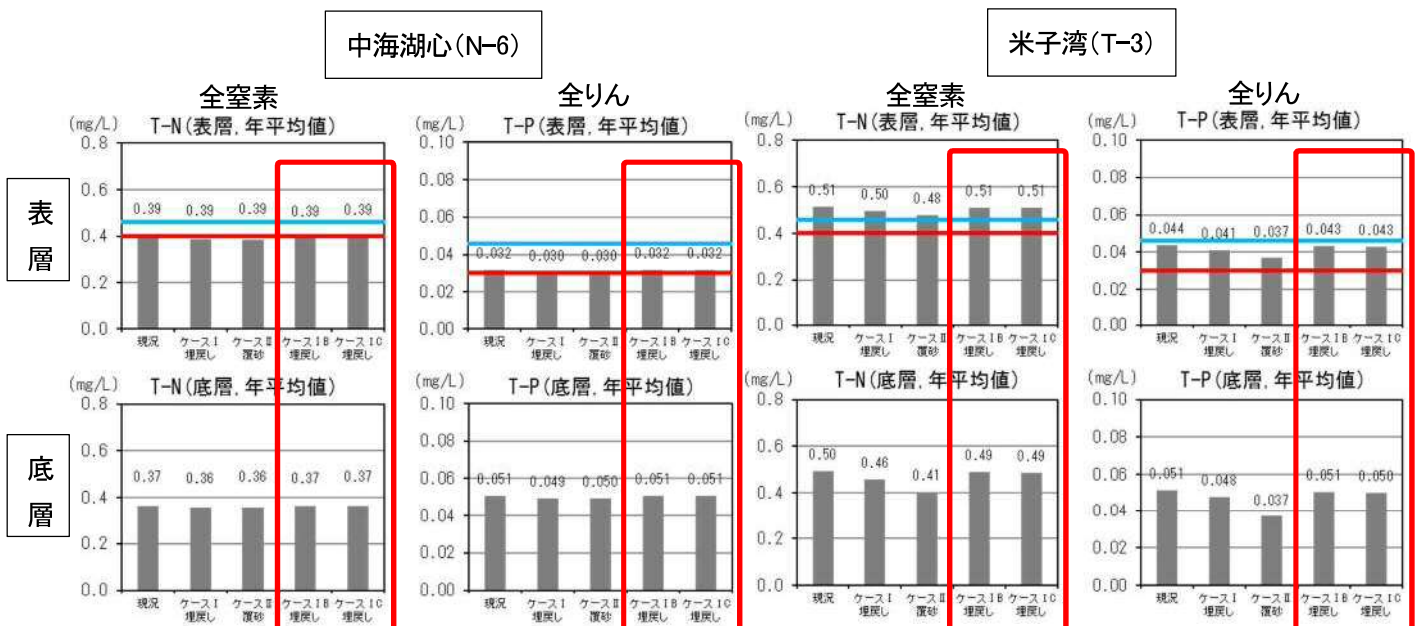
上記シミュレーション1で、ケースIの手法の水質改善効果が小さいのは、埋戻しにともなう流動の変化が影響していることも考えられたことから、流動を確保できるように「ケースI-B：B範囲のみ埋戻し」と「ケースI-C：C範囲のみ埋戻し」を実施した場合の水質改善効果をシミュレーションにより確認した。

ケースI		図中BからDの範囲の全てにおいて、窪地形状箇所を埋戻し
ケースI-B	埋戻し	流動の確保を考慮し、Bの範囲の窪地形状箇所の中で、さらにスポット的に深くなっている水深10mよりも深い部分のみを埋戻し
ケースI-C		流動の確保を考慮し、Cの範囲の窪地形状箇所の中で、さらにスポット的に深くなっている水深10mよりも深い部分のみを埋戻し
ケースII	薄層覆砂	図中BからDの範囲の全て（ケースIと同範囲）

- シミュレーションの結果、中海の湖心について、ケースI-B及びケースI-Cのいずれの場合も、現況（無対策）の水質と比べ変化は無かった。
- 米子湾地点については、現況（無対策）の水質と比較して僅かであるが改善効果は確認されたが、ケースI及びケースIIに対して、ケースI-B、ケースI-Cの埋戻しの改善効果は小さく、環境基準を満たすところまでは改善しないという結果になった。

さらに、窪地の覆砂及び埋戻しに共通する課題として、施工後に新生堆積物が堆積することによって改善効果の持続性に課題がある。

※ 赤枠は、新たな報告内容



※ H27年の流況をベースにシミュレーションした時の年平均値（平成27年1/1～12/31）の結果を整理
 ※ 赤線は環境基準値、青線は第6期中海に係る湖沼水質保全計画による水質目標値を表す（全窒素、全りんの環境基準値及び水質目標値は、表層の水質に対して適用される）。

図8 窪地対策が水質へ与える影響(全窒素、全りん)

(3) 対策に用いる土砂（資材）の検討

(ア) 発生土砂に関する情報

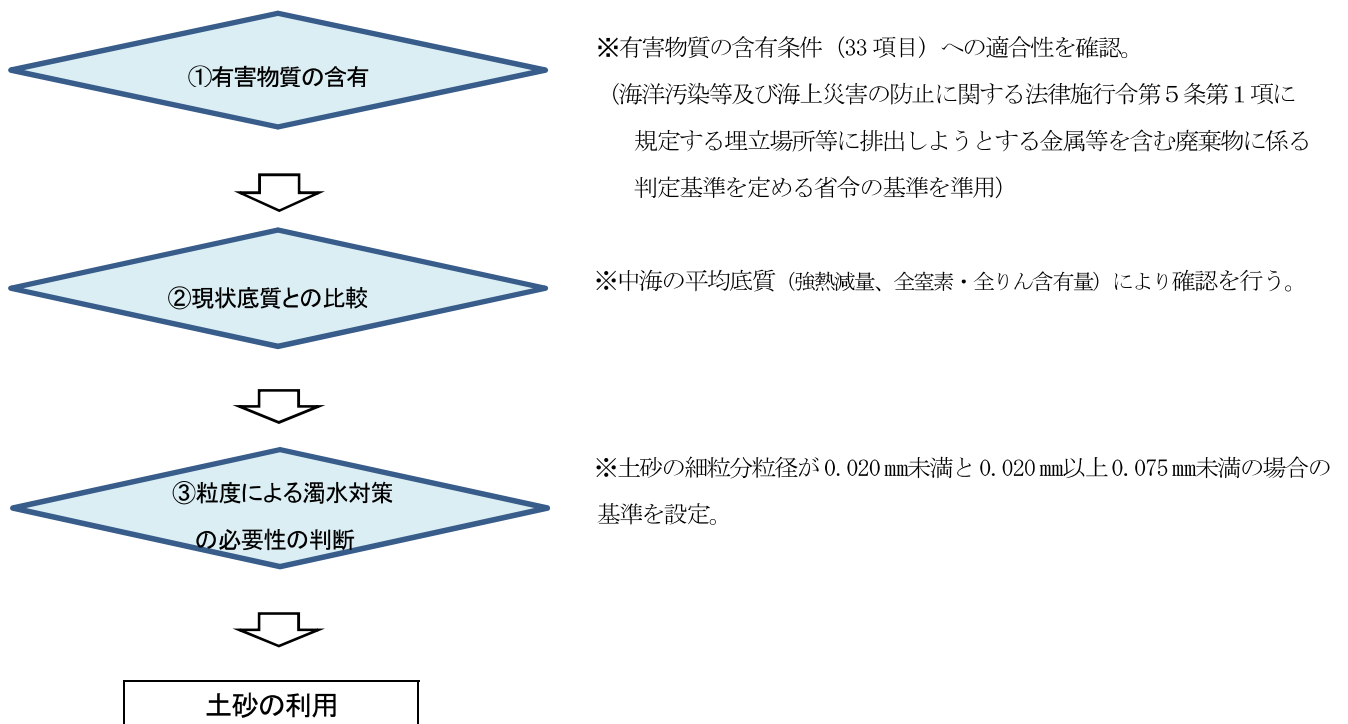
中海から半径 50km 内の公共工事における現場外搬出土砂量を調査したが、現時点では、中海に投入可能な公共工事の発生土量は少ない（島根県分の大部分は近隣の現場間で流用調整済みであり、コスト等の問題も含めて、実際に中海に使用できる土砂については、実使用する場合において検討を行う必要がある）。

参考	米子湾沖から半径 50km 内の公共工事における現場外搬出土砂量 (単位: m ³)			
	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度
発生土砂量	213,846	147,745	136,750	63,950
島根県	60,900	67,000	71,000	18,000
鳥取県	152,946	80,745	65,750	45,950

(イ) 底質対策のための土質条件の整理

現時点では、中海に投入可能な公共工事の発生土量は少ないが、中長期的には安全で良質な土砂を確保できる可能性があることから、底質対策に利用できる安全で良質な土砂の条件について、有害物質の含有、現状の底質との比較要件、粒度による濁水対策の判断条件について整理した。

土質条件の確認フロー



4 まとめ

本ワーキンググループにおいて、底質や窪地が中海の水質に与える影響について、既存資料の整理やシミュレーション手法を用いて3年にわたり検証し、以下の知見が得られたので報告する。

(1) 汽水湖としての特性

中海は塩分濃度差により、水深約4メートル付近を境として、上下2層の構造となっている。そのため、それらが容易に混合することはなく、表層と底層では異なった影響を受けている。

(2) 底質及び窪地が水質に与える影響評価

- ① 中海全体において、環境基準値及び水質目標値が適用される表層の水質（全窒素・全りん）は、流域（外海を含む）からの影響が最も大きく約80%、底質からの影響は約10%、窪地からの影響は1～2%程度と小さいことが示された。
- ② 地点別（環境基準点12地点）で見ると、米子湾が他の地点と比べて窪地からの影響が相対的に高いなど地点毎にその影響度の大きさが異なるものの、中海全体と同様に流域（外海を含む）、底質、窪地の順に影響度は小さくなる傾向が見られた。
- ③ 水質目標を達成していない地点に注目して、各窪地が水質に与える影響について検討したところ、影響が大きい窪地は窪地①（彦名沖）や窪地②（弓浜干拓沖）だが、流域からの影響等と比べて、各窪地の影響度は非常に小さいことが示された。また、環境基準が適用される表層への影響は、底層（環境基準の適用なし）への影響に比べて小さいことが示された。

(3) 底質対策手法の検討

- ① 底質対策の手法を比較すると、水深4mより浅い水域への覆砂では、透明度の向上や新たな生物生息の場となる可能性があり、効果の持続性も期待される。
一方、水深4mより深い水域での覆砂及び窪地への覆砂・埋戻しでは、栄養塩溶出の抑制や貧酸素水塊の縮小が期待されるが、施工後に新生堆積物が堆積することから改善効果の持続性に課題がある。
- ② 窪地の埋戻し、または覆砂のパターンをいくつか想定し、水質改善効果を確認した結果、いずれも改善効果は小さく、環境基準を満たすところまでは改善しないという結果になった。なお、4mより深い水域での薄層覆砂については、施工後に新生堆積物が堆積することから改善効果の持続性の課題もある。
- ③ 底質対策に用いる土砂の条件は、有害物質を含まず、現状底質より良質な土砂（全窒素・全りん含有量など）であって、さらに粒径に応じた濁水対策を講じる必要がある。

(4) 課題

底質や窪地の対策を検討する上で、シミュレーションは有効な手段となるが、現在の知見や技術的には、これ以上の詳細な検討は困難であり、新たな知見や地形データなどの蓄積が必要と考える。