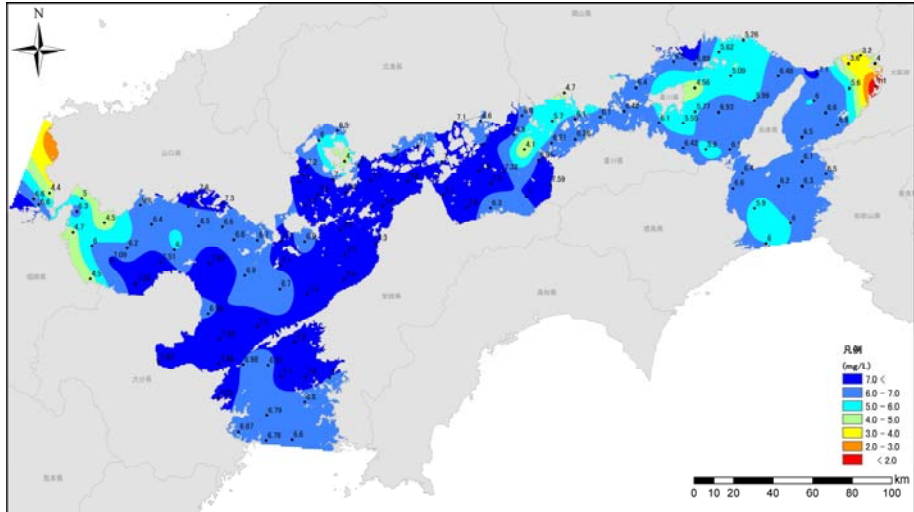
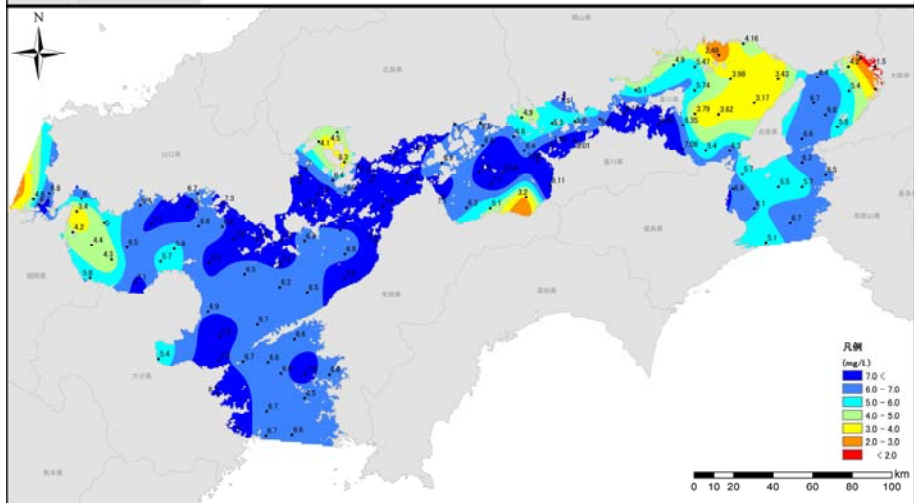


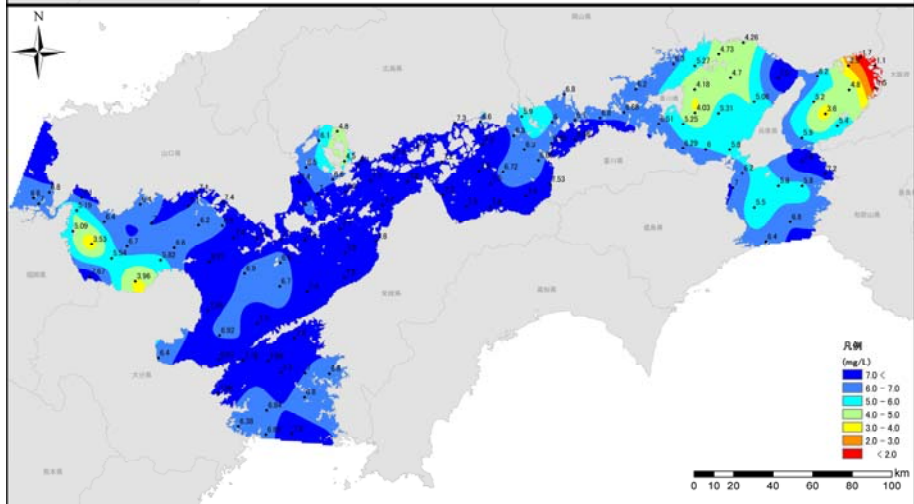
昭和 57 年度夏季 (7 月)  
調査結果



昭和 58 年度夏季 (8 月)  
調査結果



昭和 59 年度夏季 (8 月)  
調査結果



備考)「広域総合水質調査」(環境省)より作成

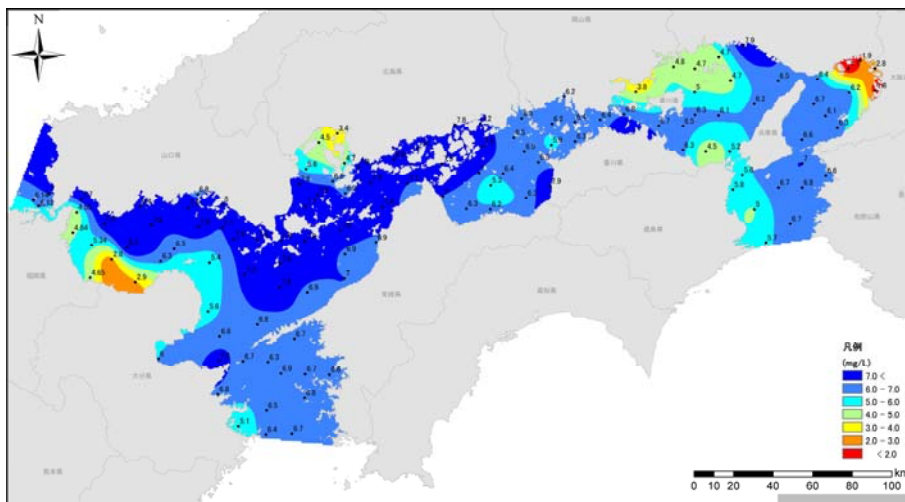
注 1) 図は、広域総合水質調査で行われている四季調査のうち、一般的に底層 DO が低下する傾向にある夏季調査の結果を用いて作成した。

注 2) 作成する年度としては、水質総量削減制度が開始された当初の状況として昭和 57 年度から昭和 59 年度の 3 年度を抽出した。

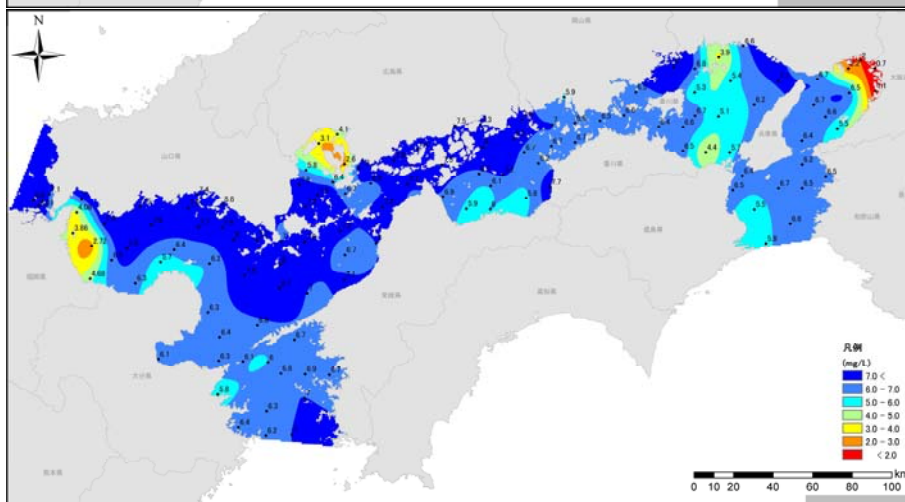
注 3) 図中の数字は、近傍黒丸地点での測定された底層の DO を表し、分布は測定結果から内想及び外想定を行うことにより作成した。

図 20 (1) 瀬戸内海における夏季底層 DO の分布 (昭和 57~59 年度)

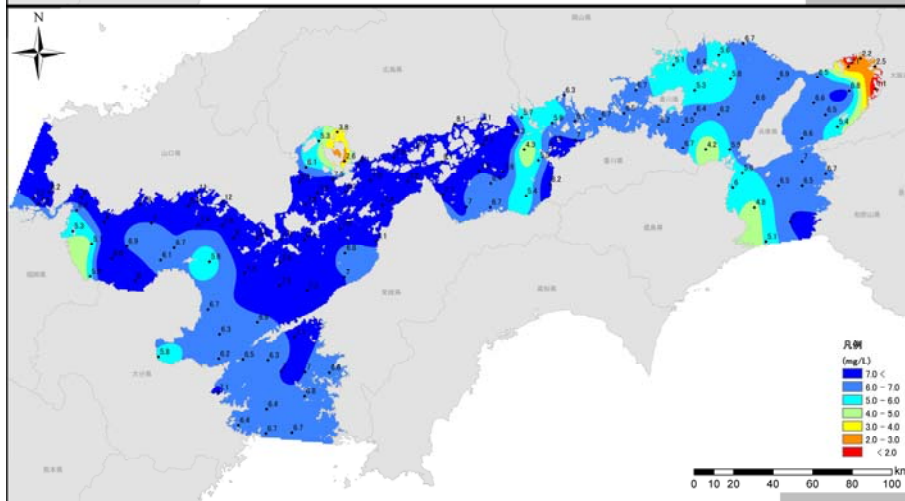
平成18年度夏季(8月)  
調査結果



平成19年度夏季(8月)  
調査結果



平成20年度夏季(8月)  
調査結果



備考)「広域総合水質調査」(環境省)より作成

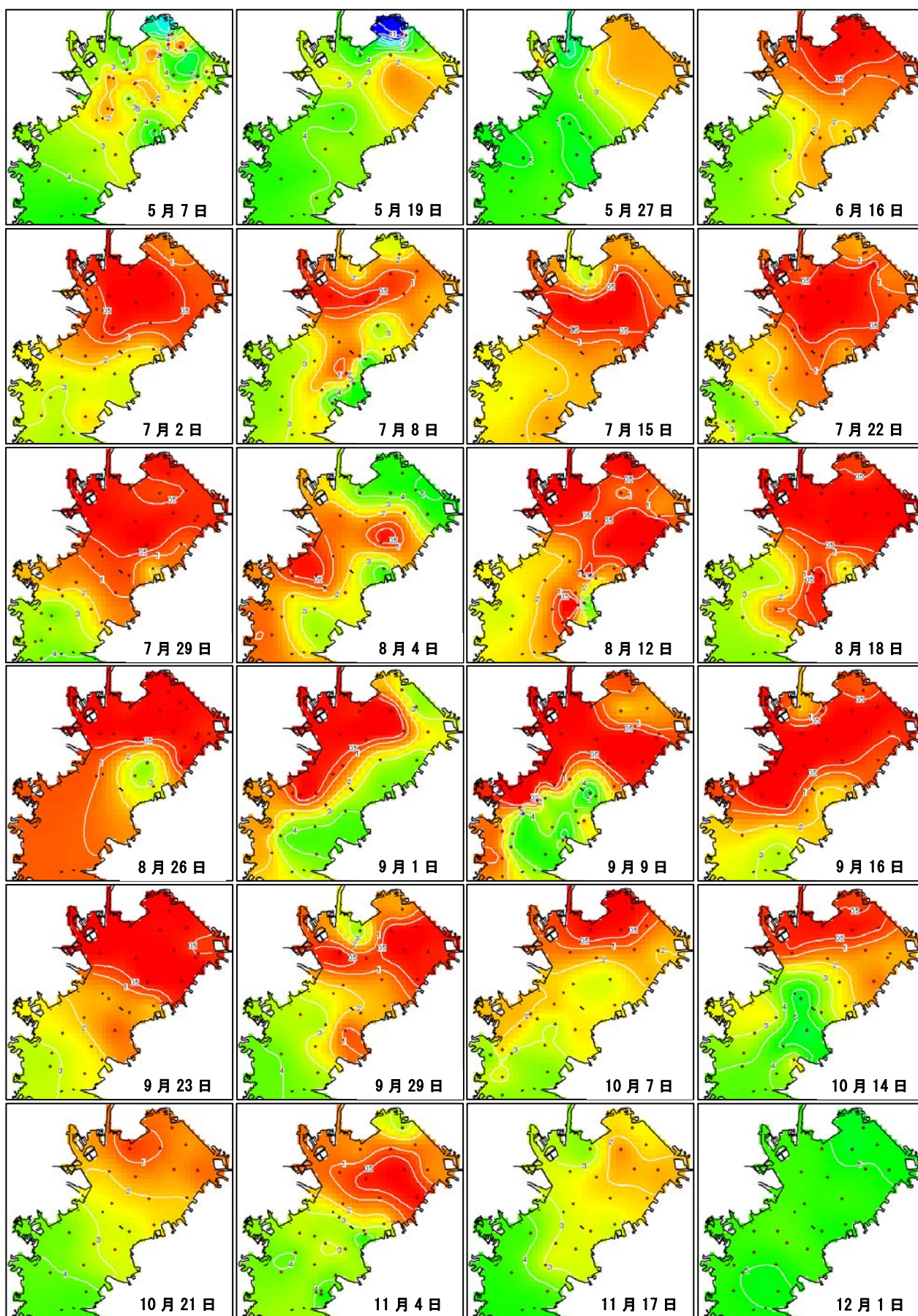
注1) 図は、広域総合水質調査で行われている四季調査のうち、一般的に底層DOが低下する傾向にある夏季調査の結果を用いて作成した。

注2) 作成する年度としては、最近の状況を示すものとして平成18年度から平成20年度を抽出した。

注3) 図中の数字は、近傍黒丸地点での測定された底層のDOを表し、分布は測定結果から内想及び外想定を行うことにより作成した。

図 20 (2) 瀬戸内海における夏季底層DOの分布(平成18~20年度)

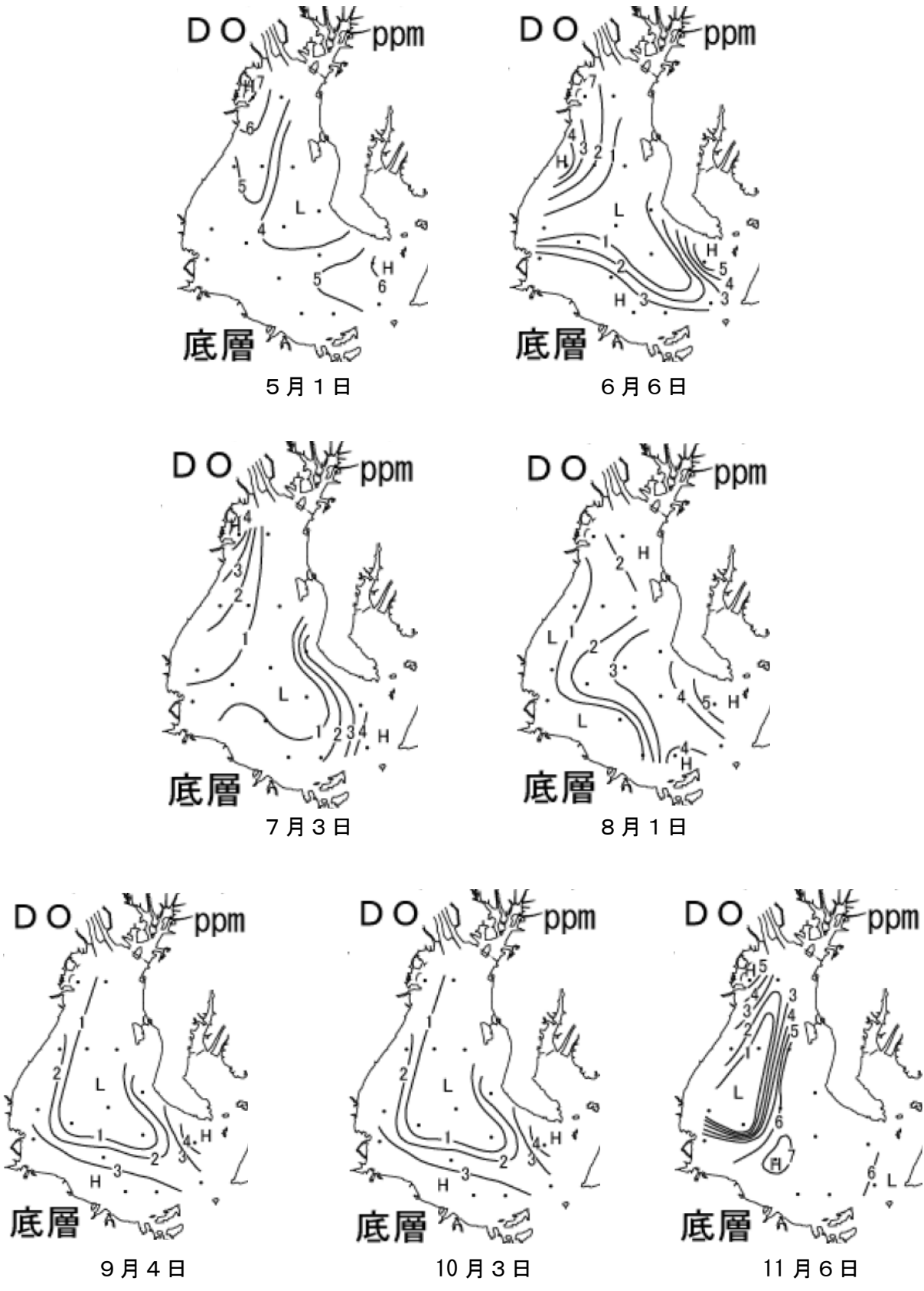




注) DOは底上1mの値

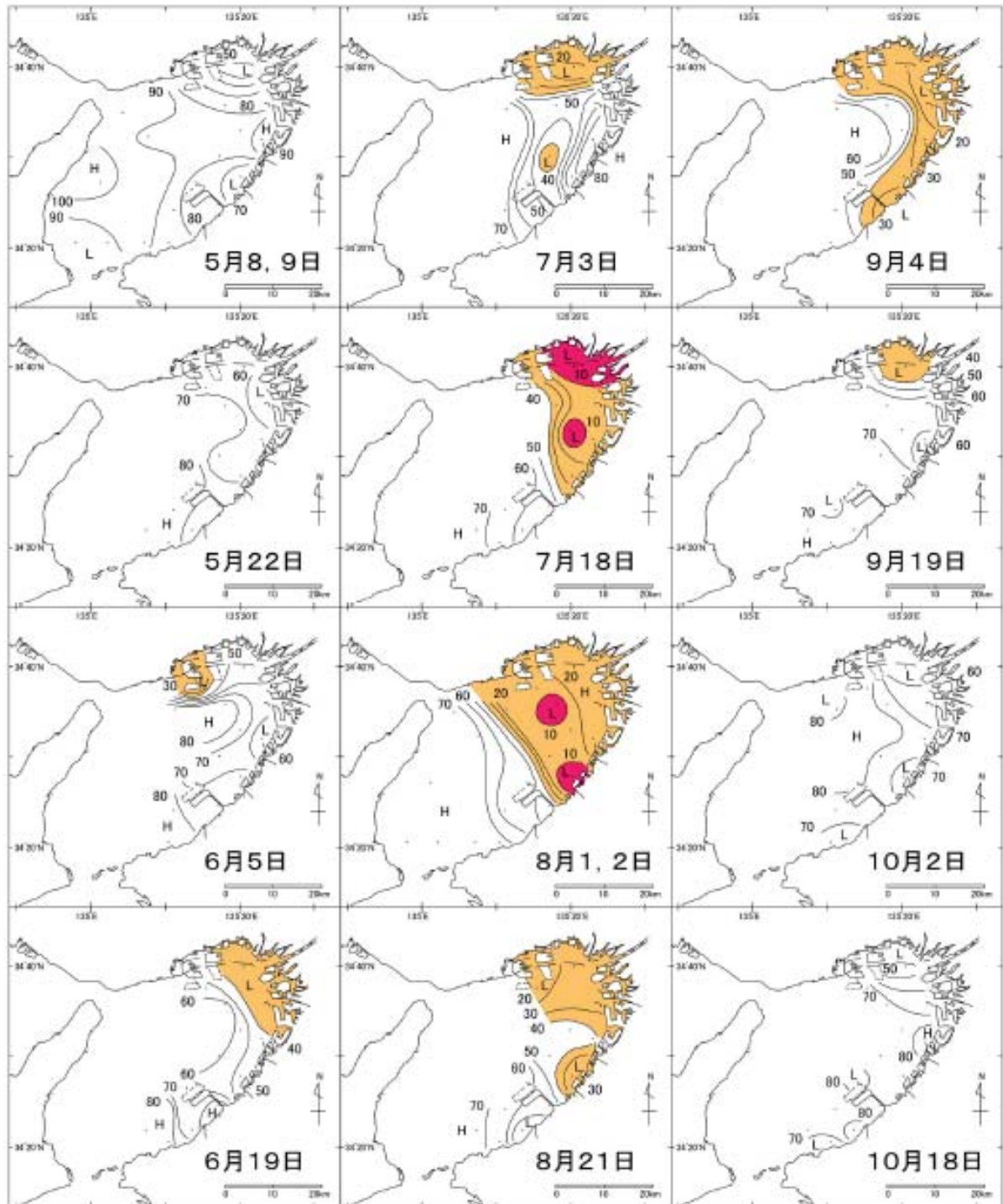
出典) 千葉県水産総合研究センター資料

図 21 東京湾における底層DOの分布 (平成20年度)



注)DOは底上1mの値  
 出典)三重県科学技術振興センター資料

図 22 伊勢湾における底層DOの分布 (平成20年)

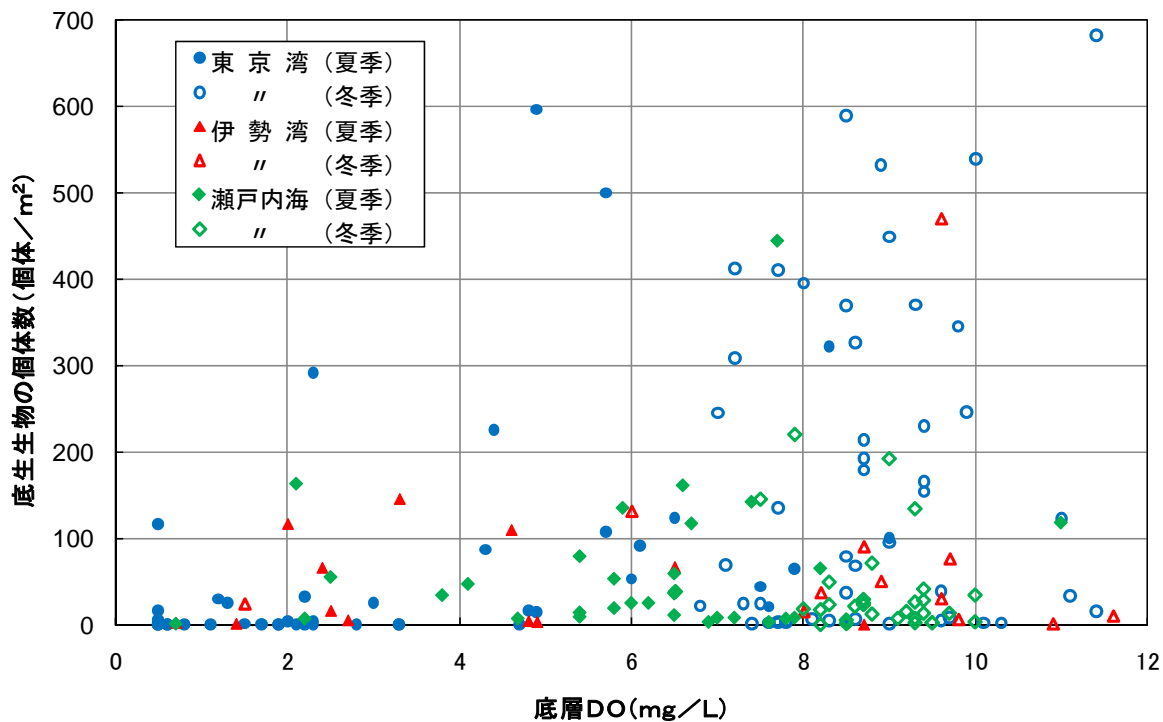


注1) DOは底上1m

注2) 図中の値は飽和度であり、薄いハッチは酸素飽和度40%以下、濃いハッチは10%以下であることを意味する。  
出典) 大阪府環境農林水産総合研究所資料

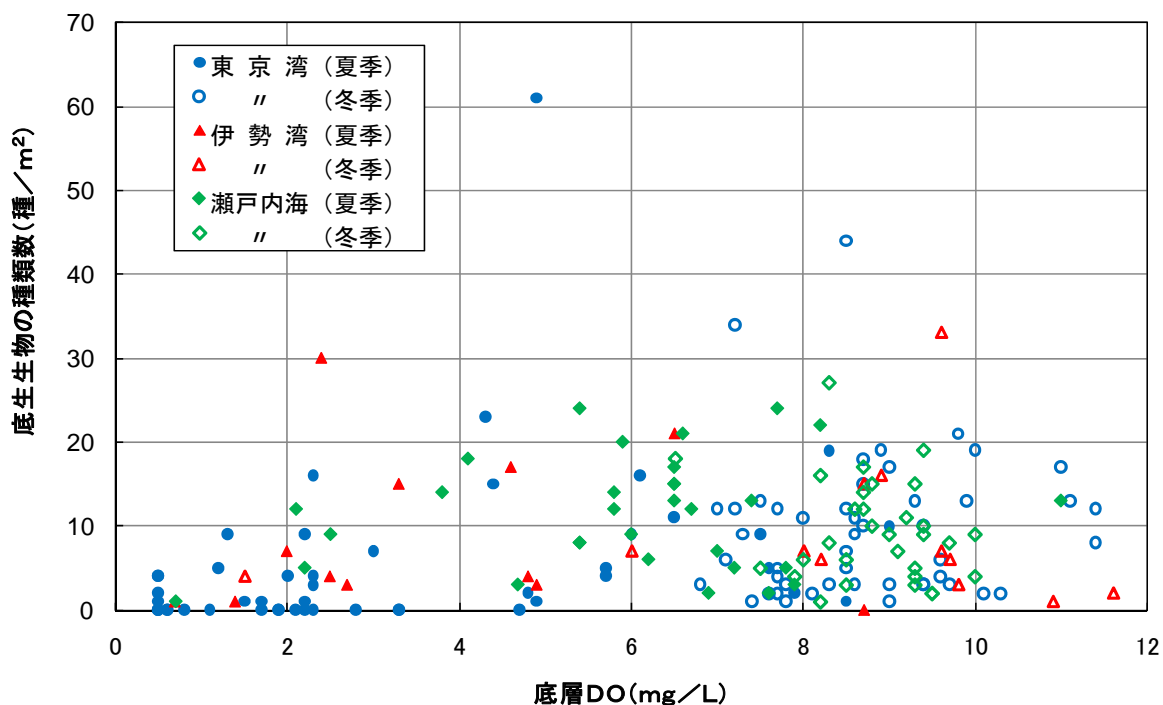
図 23 大阪湾における底層DOの分布 (平成19年)





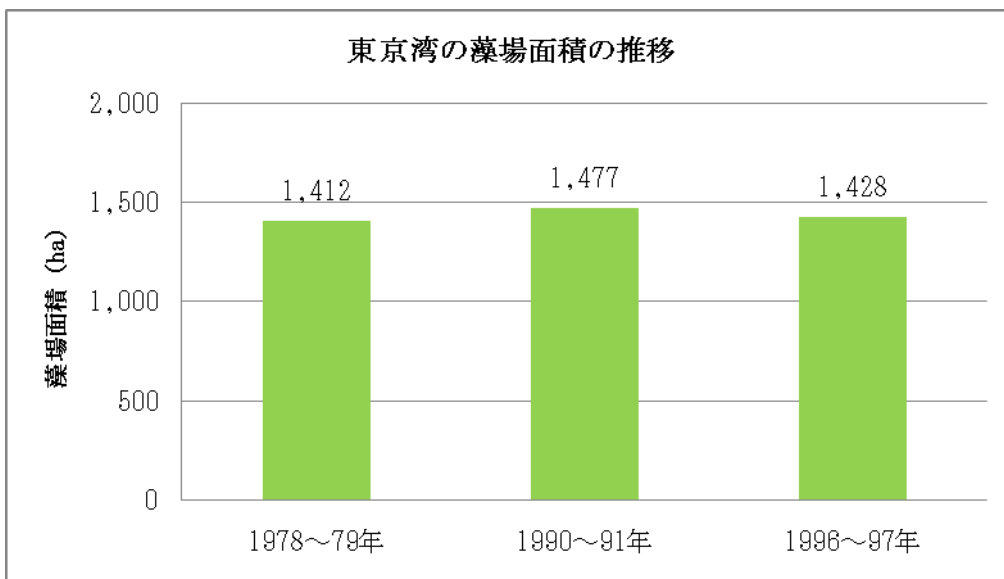
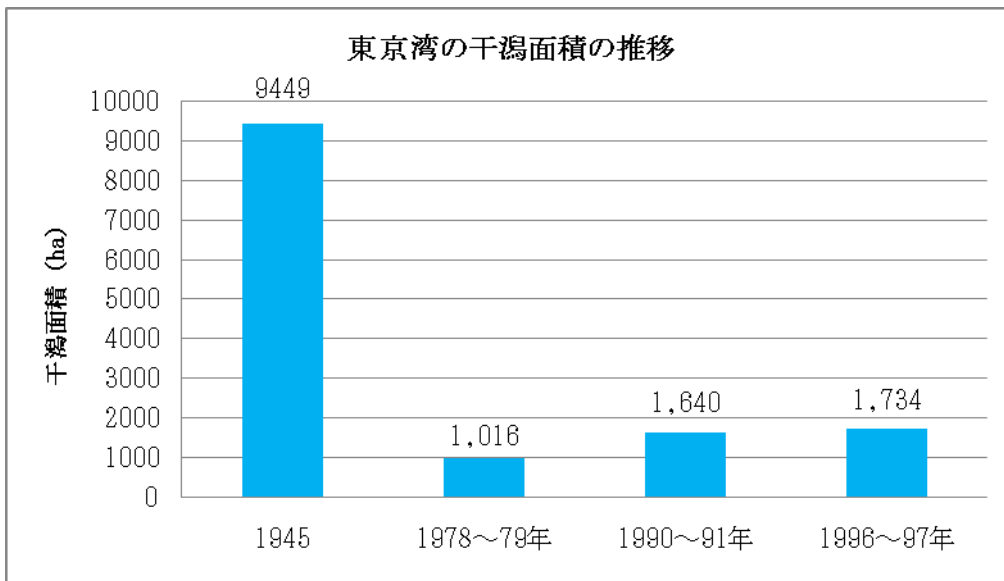
備考) 上図は、平成15～20年度の広域総合水質調査（環境省）において、同一地点で底層DOと底生生物とを測定した結果を散布図として示したものである。

図 24 指定水域における底層DOと底生生物の個体数との関係



備考) 上図は、平成15～20年度の広域総合水質調査（環境省）において、同一地点で底層DOと底生生物とを測定した結果を散布図として示したものである。

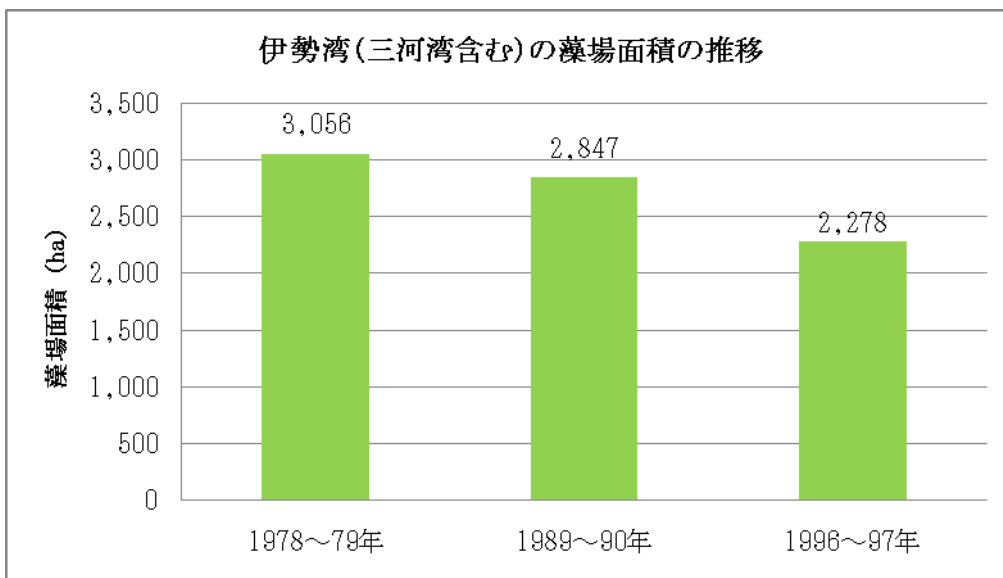
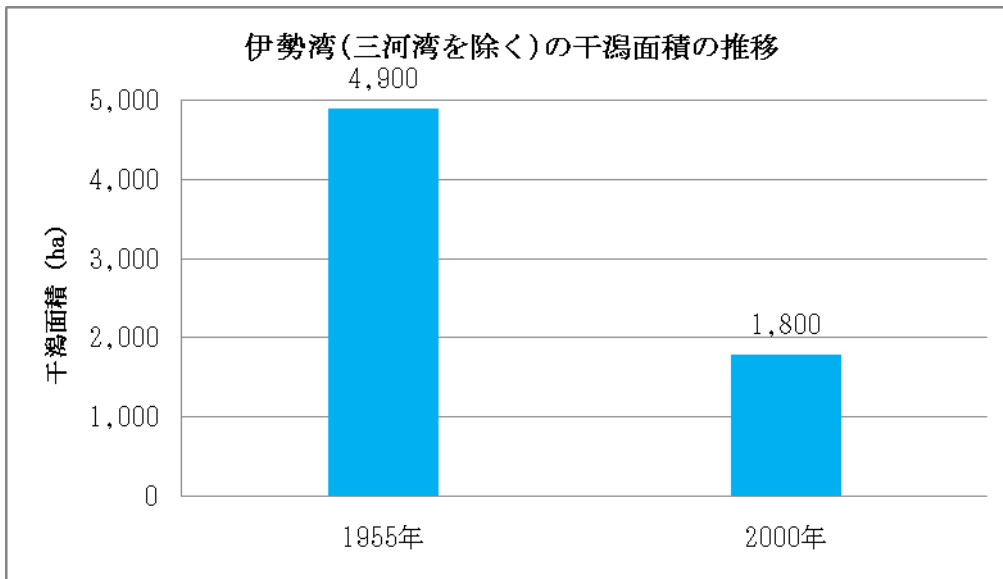
図 25 指定水域における底層DOと底生生物の種類数との関係



<干潟・藻場面積>

- ・1945、1978～79年：「第2回自然環境保全基礎調査 海域調査報告書」（環境庁）
- ・1990～91年：「第4回自然環境保全基礎調査 海域生物環境調査報告書」（環境庁）
- ・1996～97年：「第5回自然環境保全基礎調査 海辺調査」（環境庁）

図 26 東京湾における干潟・藻場面積の推移



備考) 干潟面積及び藻場面積は以下の資料により求めた。

<干潟面積>

- ・1955年、2000年：「伊勢湾の生態系の回復に関する研究」（平成15年3月、三重県科学技術振興センター）

注) 干潟面積は伊勢湾（三河湾を除く）における面積である。

<藻場面積>

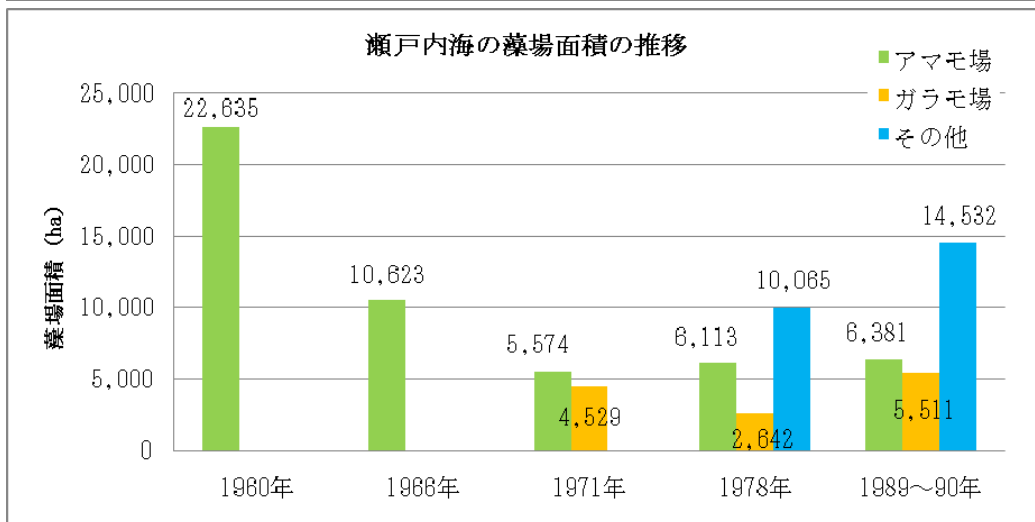
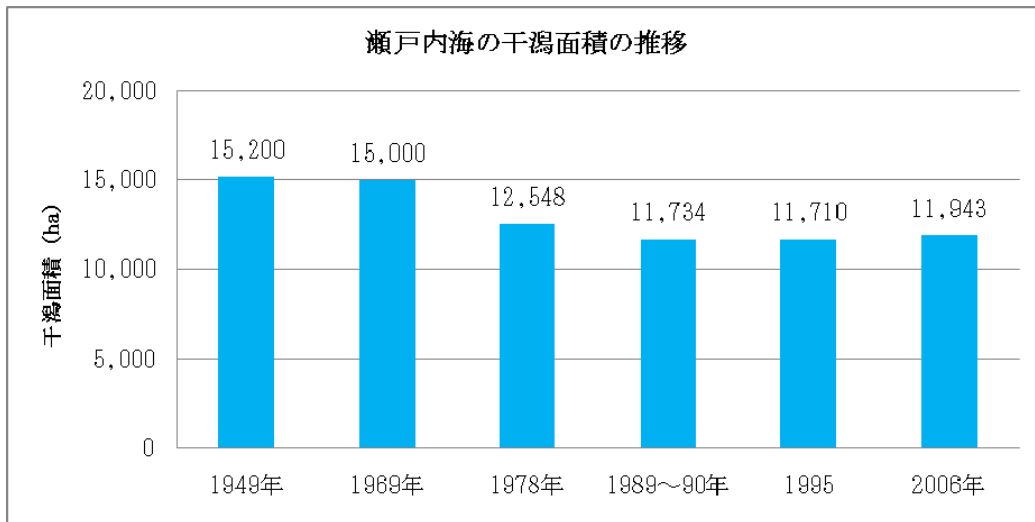
- ・1978～79、1989～90年：「第4回自然環境保全基礎調査 海域生物環境調査報告書」（環境庁）

- ・1996～97年：「第5回自然環境保全基礎調査 海辺調査」（環境庁）

注) 1978～79年の藻場面積は、1989年～90年の面積に、1989以前に消滅した面積を足し合わせて算出した。

図 27 伊勢湾における干潟・藻場面積の推移





備考) 干潟面積及び藻場面積は以下の資料により求めた。

<干潟面積>

- ・1949、1969年：「瀬戸内海要覧」（建設省中国地方建設局）
- ・1978年：「第2回自然環境保全基礎調査 海域調査報告書」（環境庁）
- ・1989～90年：「第4回自然環境保全基礎調査 海域生物環境調査報告書」（環境庁）
- ・1995年：「第5回自然環境保全基礎調査 海辺調査報告書」（環境庁）
- ・2006年：「瀬戸内海干潟実態調査」（環境省）

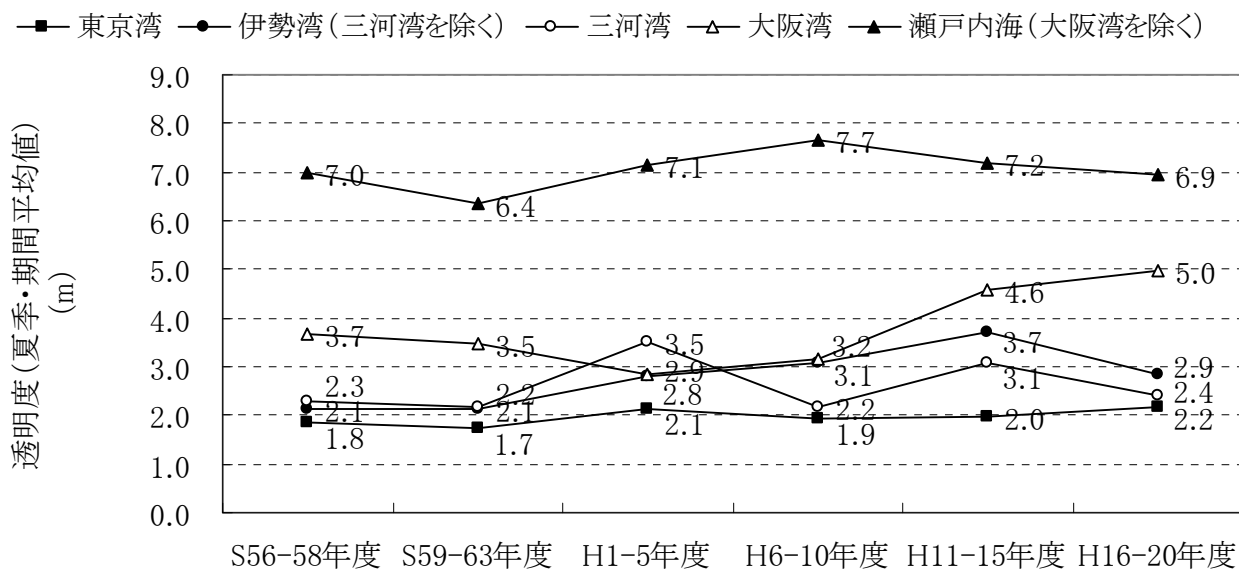
注) 出典により、面積測定方法に違いがある。

<藻場面積>

- ・1960、1966、1971年：「水産庁南西海区水産研究所調査」
- ・1978年：「第2回自然環境保全基礎調査 海域調査報告書」（環境庁）
- ・1989～90年：「第4回自然環境保全基礎調査 海域生物環境調査報告書」（環境庁）

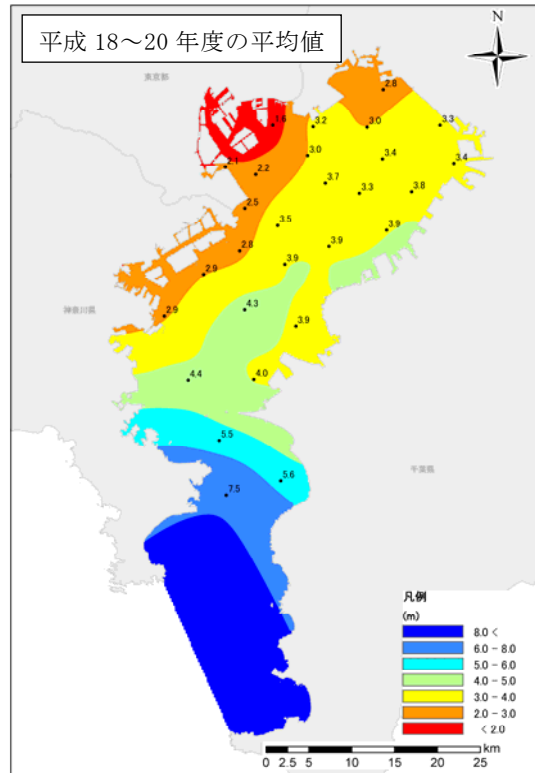
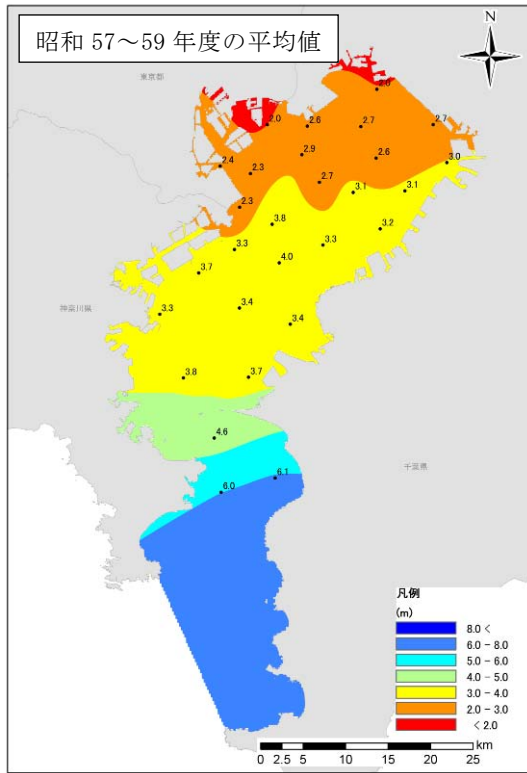
注) 藻場面積のうち、1978年及び1989～90年に掲載した「その他」のうち、1978年のものは第2回自然環境保全基礎調査「コンブ場」、「アラメ場」、「ワカメ場」、「小型多年藻場」、「小型一年藻場（アオサ、アオノリ場）」及び「その他」の区分において調査されたものの合計値を、1989～90年のものは第4回自然環境保全基礎調査において「コンブ場」、「アラメ場」、「ワカメ場」、「テングサ場」、「アオサ・アオノリ場」及び「その他」の区分において調査されたものの合計値をそれぞれ掲載した。

図 28 瀬戸内海における干潟・藻場面積の推移



出典) 広域総合水質調査(環境省)

図 29 海域別の夏季透明度の推移

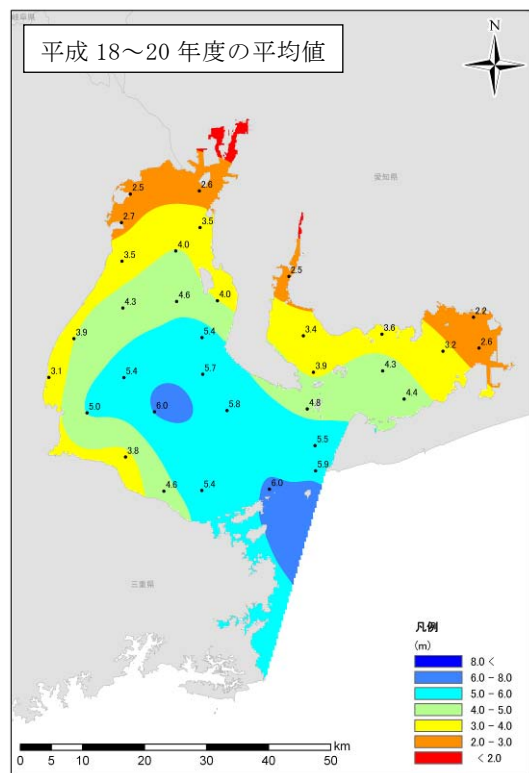
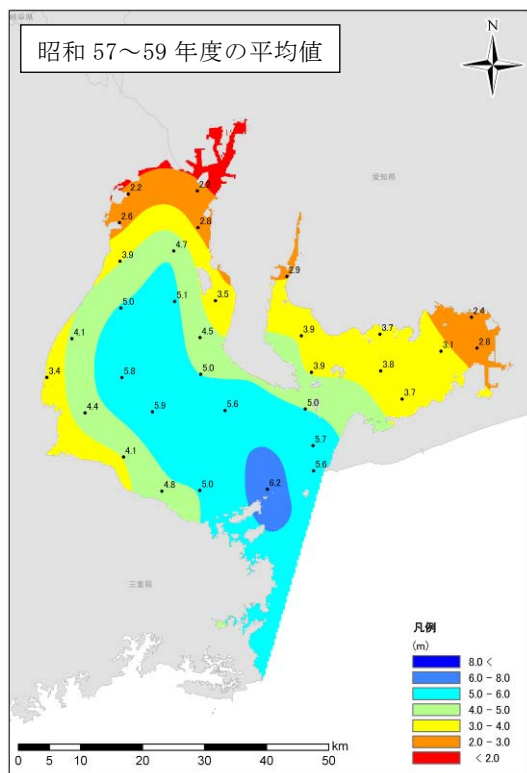


備考)「広域総合水質調査」(環境省)より作成

注1)各図に示す期間において測定された透明度の平均値より作図した。

注2)図中の数字は、近傍黒丸地点での測定された透明度を表し、分布は測定結果から作成した。

図 30 東京湾における透明度の分布

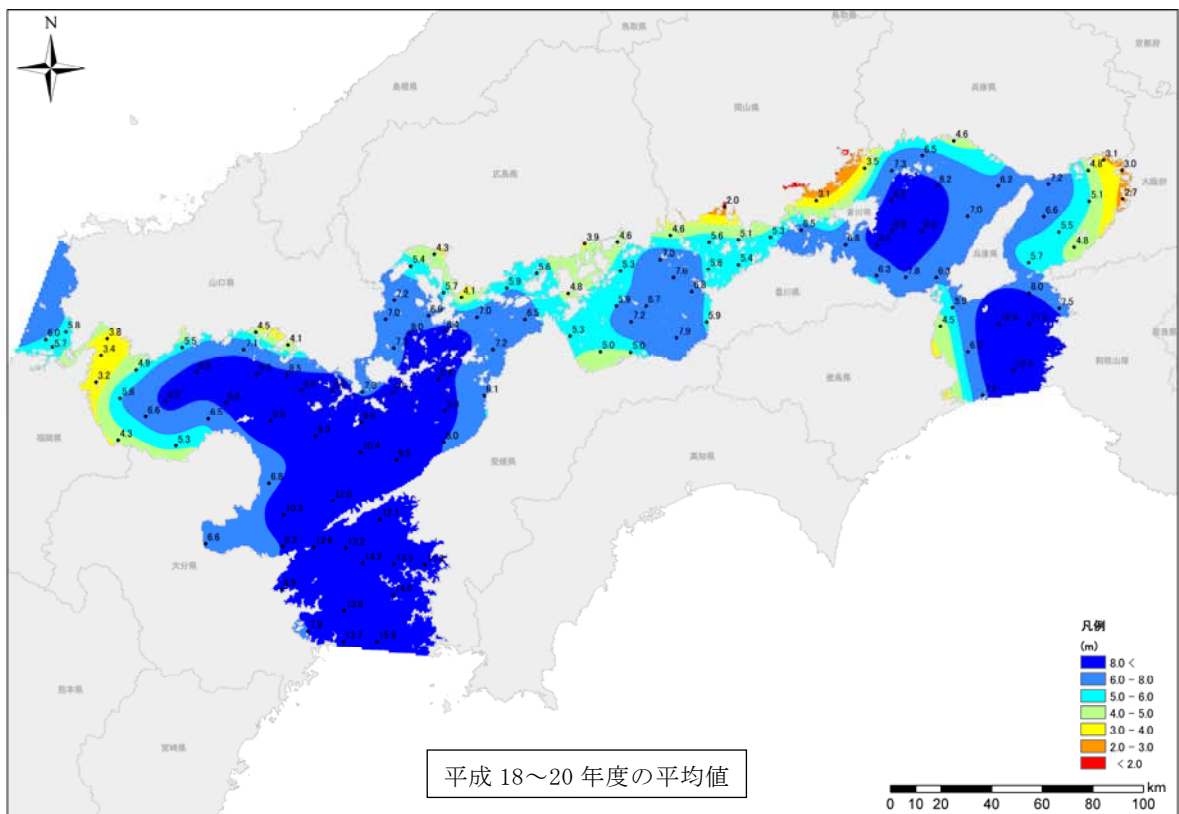
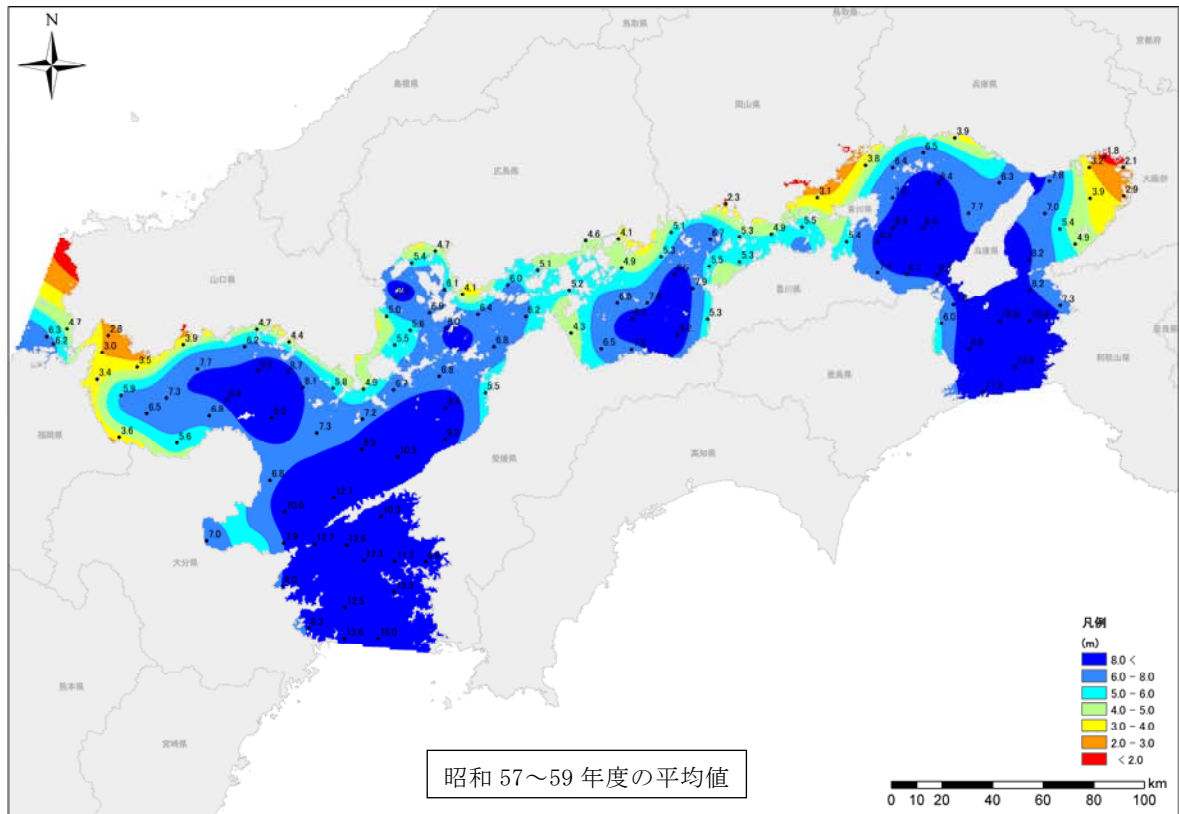


備考)「広域総合水質調査」(環境省)より作成

注1)各図に示す期間において測定された透明度の平均値より作図した。

注2)図中の数字は、近傍黒丸地点での測定された透明度を表し、分布は測定結果から作成した。

図 31 伊勢湾における透明度の分布



備考) 「広域総合水質調査」(環境省) より作成

注 1) 各図に示す期間において測定された透明度の平均値より作図した。

注 2) 図中の数字は、近傍黒丸地点での測定された透明度を表し、分布は測定結果から作成した。

図 32 瀬戸内海における透明度の分布



### 3.2 今後の対策を講じる上での対応方針

#### (1) 指定水域の水質等の在り方

環境基本法第3条においては、「環境の保全」を、「環境を健全で恵み豊かなものとして維持することが人間の健康で文化的な生活に欠くことのできないものであること及び生態系が微妙な均衡を保つことによって成り立っており人類の存続の基盤である限りある環境が、人間の活動による環境への負荷によって損なわれるおそれが生じてきていることにかんがみ、現在及び将来の世代の人間が健全で恵み豊かな環境の恵沢を享受するとともに人類の存続の基盤である環境が将来にわたって維持されるように適切に行われなければならない。」と定義している。

平成18年4月に策定された第三次環境基本計画では、環境保全上健全な水環境の確保に向けた取組における中長期的な水質、水生生物及び水辺地の目標として、以下に掲げる状態を維持することが重要であるとしている。

水質：水環境・土壌環境において、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。

水生生物：人と豊かで多様な水生生物等との共存がなされること。

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。

また、同計画では、今後の水環境を保全するための施策として、水生生物の観点から水質に係る知見を含め、科学的知見を充実させ、人の健康を保護し、及び生活環境を保全する上で維持されることが望ましい環境基準について、水生生物の保全に係る基準を含め検討を行い、必要な場合は改訂を行うこととしており、さらには、地域の住民、事業者等の参加や協力を得ながら、地域の実情に即し、水質、水辺地及び水生生物等を含めた水環境を総合的に評価する手法について検討することとしている。

これらを踏まえると、前述したような未解決の課題に対し、以下の方針で実施することが適当であると考えられる。

#### (2) 生物の生息等を評価するための新たな指標の必要性

閉鎖性海域における水質改善について検討し、その効果を判断する指標として、これまで、環境基準が設定されているCOD、T-N及びT-Pを主に用いてきた。

環境基準における「生活環境」では、単に人の生活及び人の生活に密接な関係のある財産ばかりでなく、人の生活に密接な関係のある動植物及びその生育環境をも含めることとしている<sup>2</sup>。

CODは、有機物による水の汚れを表す指標ではあるが、閉鎖性海域に生育・生息する生物に直接影響を及ぼすものではなく、CODの高低のみをもって生物及びその生育・生息環境が良好であるかを判断することは必ずしも十分ではない。

T-N及びT-Pは、植物プランクトンの増殖を左右する一要素である。内部生産を抑

<sup>2</sup> 中央環境審議会水環境部会（2003）水生生物の保全に係る水質環境基準の設定について（第一次報告）、参考13「生活環境」の範囲について

止する観点では低いことが望ましい一方、生物の再生産に重要な役割を担っている藻場等の海藻草類にとっては必要不可欠なものである。このため、T-N及びT-Pについてもその濃度の高低のみをもって生物及びその生育環境が良好であるかを判断することは適当とは言いがたい。

水生生物の生育・生息も考慮した閉鎖性海域の環境改善に向けては、中長期的に取り組むべき課題を整理し、生育・生息環境に直接影響を及ぼしている因子を新たな環境指標として設定することについて検討が必要である。

### (3) 市民の理解を得るための分かりやすい説明の必要性

水質保全行政は、市民の理解と協力がなしではその推進が困難であり、施策を継続的に実施する上では、市民の理解と協力が重要となる。

環境基準の達成状況を評価するために用いられているCOD、T-N及びT-Pは、市民が体感できるなどの直感的で理解し易い指標とは言いがたい。また前述の通り、その値の高低が生物の生息・生息に及ぼす影響について直接判断することが難しく、市民の理解が得られやすい新たな環境指標を設定することについて検討が必要である。

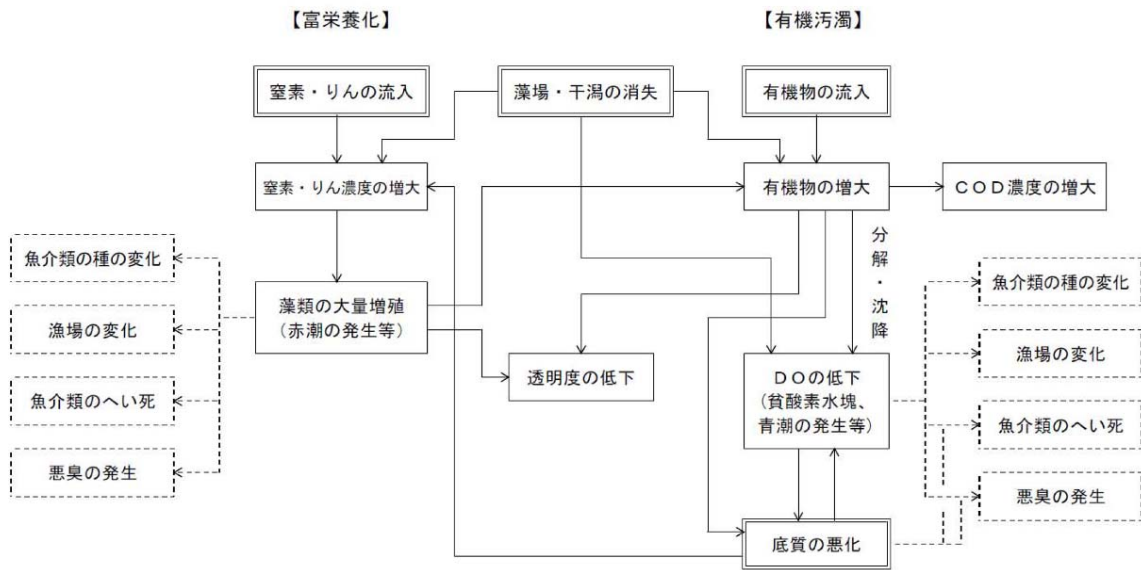
また、施策を市民の協力を得ながら実施していくためには、将来の指定水域において予想される水質等を明確にし、その実現に向けたロードマップを提示する必要がある。

### (4) 中長期的な視点での検討の必要性

東京湾、伊勢湾及び瀬戸内海へのCOD、T-N及びT-Pの汚濁負荷量は、昭和50年代から現在に至るまで継続的に削減されている。特に汚濁が著しかった東京湾及び大阪湾では、海域でのCODが昭和50年代から平成の初めまでは負荷量の削減に応じる形で明らかな低下傾向が見られる。しかしながら、総じて見ると、海域のCODは、平成の初めごろから横ばい傾向にあり、赤潮や青潮等の利水障害が依然として生じている。

また、生物の生息及び再生産と密接な関係のある底層DO及び透明度については、汚濁負荷量の変動や海域でのCOD、T-N及びT-Pの変動とは異なり、昭和50年代から横ばい傾向にあり、底層DO及び透明度の低下が生物の生息及び再生産に影響を及ぼし続けている。

閉鎖性海域における水質汚濁に影響する主な要因としては、陸域からの有機汚濁の負荷及び流入した栄養塩類による海域での有機物の内部生産の他、河川からの淡水の流入、海域における有機物の沈降、堆積及び分解、底泥から溶出する栄養塩類による有機物の内部生産、外海との海水交換、潮流による海水の移動・攪拌等がある。水質汚濁にはその他、水温、日射量等の気象条件、生物による栄養塩類の取込と食物連鎖、漁業による海域からの取り上げ、嫌氣的条件下での脱窒などが複雑に影響している。(図 33)



出典) 中央環境審議会水環境部会 (第19回 平成21年2月開催) 資料2-3

図 33 閉鎖性海域の水質汚濁メカニズム

閉鎖性海域に流入する汚濁負荷量が継続的に削減されているにもかかわらず水質の改善が明確に見られない原因の一つとして、海域での汚濁物質総量に占める海域内部で生産されるものの割合が相対的に高まっていることがあげられる。

東京湾、伊勢湾及び瀬戸内海等の汚濁が著しい海域では、過去からの膨大な汚濁物質が、その構造上海水交換が悪いこともあって、底泥に蓄積されている。この底泥に蓄積された有機物の分解に底層DOが消費され、分解に伴い溶出する栄養塩類による有機物の内部生産、内部生産された有機物の底泥への再沈降というサイクルが、水環境の改善を遅らせる一因になっていると考えられる。

東京湾、伊勢湾及び瀬戸内海において、底泥に蓄積された汚濁物質を短期間で除去することは、現実的であるとは言いがたく、これまでに蓄積された底泥中の汚濁物質を減少させるためには長い時間が必要であると考えられる。今後の閉鎖性海域における水環境改善に向けては、数十年後のあるべき将来像を見据えつつ水質総量削減を含めた総合的な対策を効果的に推進していくことが必要であると考えられる。

なお、検討に当たっては、地球温暖化の進行に伴う水温、気象条件などの変化を見込むとともに、対策については、できるだけ地球温暖化対策にも資するような配慮が必要である。

#### (5) シミュレーションモデルによる将来予測の必要性

中長期的にわたる環境の保全に向けた施策を市民、事業者等の理解を得て、関係者が協力して実施するためには、各方面で実施する将来の取組を改善に向けたシナリオとして取りまとめることが有効である。シナリオに基づき想定される改善状況をロードマップとして提示する際には、シミュレーションモデルによる将来予測を用いることが妥当である。

このシミュレーションモデルは、現在の水質の状態ばかりでなく、過去から現在に至る

までに変化してきた水質や水質の変化に影響を及ぼす底質等について再現計算を行い、その妥当性を証明することが必要である。

また、中長期的な将来予測を行う際には、適切にシナリオを設定することが重要であり、各方面で実施する水質改善のための将来の取組に加えて、将来の人口動態や地球温暖化の影響等もシナリオに考慮する必要がある。



## 4. 新たな水質目標

### 4.1 水質目標の選定

現在、水質汚濁が著しい閉鎖性海域においては、成層化する夏季を中心として、貧酸素水塊が底層を中心に発生するなど生物の生息にとって好ましくない状態が継続して発生している。貧酸素水塊による生物への影響を軽減し、良好な水環境の実現に向けた施策を効果的に実施するためには、底層においてDOに係る目標を設定する必要があると考えられる。

他方、生物の再生産のみならず水質の浄化等に重要な役割を担っている藻場の保全・再生に向けては、透明度を指標とした目標を設定する必要があると考えられる。また、透明度は、良好な水環境であるかを市民が体感しやすい指標であり、親水利用の観点からも必要な指標であると考えられる。

このため、底層DO及び透明度を新たな指標として目標値を設定することを提案する。

### 4.2 底層DOの目標設定

#### 4.2.1 目標設定に当たっての考え方

##### (1) 底層DOの目標設定の目的

魚介類を中心とした水生生物の生息が健全に保たれるためには、水質や底質等の様々な環境要素が適切な状態に保たれていることが重要であり、このうち、DOは、生物にとって特に重要な要素の一つである。しかし、近年では、底層DOの低下が水生生物の生息や海域環境全体へ及ぼす悪影響として問題となっている。

底層DOの低下は、それ自体が水生生物の生息を困難にさせる上、生物にとって有害な硫化水素を発生させて水生生物の大量斃死を引き起こすことがある。また、底層DOの低下は、底泥からの栄養塩類の溶出や、斃死した生物の分解に伴う更なる酸素消費を引き起こす等、海域の富栄養化を促進する<sup>3</sup>。さらに、硫化水素などを含む底層の無酸素水塊あるいは貧酸素水塊が沿岸域の表層に湧昇する現象である青潮（苦潮）は、貧酸素水塊が発生しないような浅場にも到達し、沿岸の生物とりわけ移動性に乏しい魚介類の斃死を引き起こすことで大きな被害を与えている<sup>3</sup>。以上のことから、底層DOの低下による水生生物への悪影響を軽減し、良好な海域環境を回復・維持するために、海域における適切な底層DOの数値目標を設定する必要がある。

##### (2) 設定する底層DO目標の種類

底層DO目標は、当該海域の底層を生息域とする魚介類や、その餌生物が生存できることはもとより、再生産が適切に行われるよう、底層を利用する水生生物の個体群の維持を可能とする値を設定する（「中央環境審議会水環境部会 水生生物保全環境基準専門委員会資料」（平成17年）より引用）。他方、魚介類は未成魚及び成魚といった環境の変化に対して能動的に反応（応答）できる段階と、浮遊生活をする卵や仔魚の段階及び底生生活をは

<sup>3</sup> 小倉紀雄編（1993）東京湾－100年の変遷－，pp47-52，恒星社厚生閣，東京

じめて間もない稚魚といった環境の変化に対して受動的にならざるを得ない段階があり、後者については、より厳しい目標とすることが望ましい。

また、海水の水平方向の交換や鉛直方向の混合が生じにくい水域は、夏季に底層DOが極端に低下することで低DO耐性が高い種までもが生息できない場、いわゆる無生物域となることがあり、このような場を解消するための底層DO目標も定める必要がある。なお、無生物域とは、小型底生生物が全く生息しない状況を無生物域と定義する。

以上を踏まえ、以下に示す3種類の底層DO目標を設定することとした。

### 1) 魚介類の生息域の確保のための底層DO目標

魚介類の個体群が維持されるためには、魚介類の生息域において底層DOの低下による生息個体数の減少が起こらないことが重要である。したがって、魚介類の生息個体数が減少しない目標を設定し、魚介類が生息する水域の底層に適用することとする。

なお、本目標値は、特に感受性の高い個体の保護までは考慮せず、未成魚、成魚の段階で底層を利用する魚介類の個体群の維持を可能とする値に設定した。また、低酸素が魚介類に与える影響の多くは、貧酸素水塊の発生に伴う忌避や斃死等の突発的な影響であることから、急性影響の観点から目標値を設定することとした。

### 2) 魚介類の再生産の場の確保のための底層DO目標

魚介類の個体群が維持されるためには、生息域が確保されるのみならず、再生産も適切に行われる必要がある。そのためには、閉鎖性海域を再生産の場として利用する種にとって、繁殖期から発育段階初期に至るまでの個体の生存が確保され、かつ繁殖期の個体の性成熟や産卵等が阻害されないことが重要である。したがって、繁殖期から発育段階初期に至るまでのそれぞれの個体の生存と健全な成長が確保される目標を設定し、魚介類が生息する水域のうち、繁殖期から発育段階初期に利用する水域に適用することとする。

なお、本目標値は、低酸素に脆弱な卵期・仔魚期・稚魚期の魚介類の生存を確保し、かつ繁殖活動を阻害しない値とすることとした。また、生息域の確保のための目標と同様に急性影響の観点から目標値を設定することとした。

### 3) 無生物域の解消のための底層DO目標

海水の水平方向の交換や鉛直方向の混合が生じにくい水域等の夏季に貧酸素化しやすい場所では、低DO耐性が高い種（小型多毛類等）も生息できず、いわゆる無生物域となることが知られている。したがって、このような無生物域を発生させないために維持すべき目標を設定する。

なお、本目標値は、小型底生生物のうちDOの低下に対する耐性が高い種を対象とすることとし、魚介類と同様に、急性影響の観点から設定することとした。

## (3) 底層DO目標値の導出及び設定の方法

### 1) 検討対象種の選定

底層DO目標の設定対象とする種（以下、「検討対象種」という。）のうち、生息域の確

保のための底層DO目標及び再生産の場の確保のための底層DO目標の検討対象種は、適用を検討する海域に生息する魚介類より、「生活史のいずれかの段階で適用を検討する海域の底層を利用する種」を選定する。魚介類の生息域及び再生産の場を確保するためには、魚介類の餌となる生物の生息も確保される必要があり、底層を利用する魚介類の主要な餌生物は小型底生生物であることから、小型底生生物の生息が確保されるDOも検討し、検討対象種の導出される目標値を下回る値であるか確認することとした。無生物域の解消のための底層DO目標の設定対象とする種は、国内の内湾に広く生息する小型底生生物のうち、低DO耐性が特に高い分類群である多毛類とする。

## 2) 底層DO目標値の導出及び設定に用いる情報

底層DO目標値の検討に用いる情報としては、①検討対象種を供試個体として低DO耐性実験を実施した結果が記載されている文献（以下、「実験文献」という。）、②現場観測から得られたDO及び生物の両データが記載されている文献（以下、「現場観測文献」という。）とする。

①の実験文献は、室内に設置した実験装置において、DOの変化に対する水生生物の生死、成長、行動異常及び酸素消費量の変化等の反応（応答）の観察結果より、低DO耐性を明らかにしているものとする。

②の現場観測文献は、実海域において、DOと魚介類の生息状況や漁獲量の変動状況等との関係について記述しているものとする。

## 3) DO耐性評価値の導出

### (7) 実験文献におけるDO耐性評価値の導出

実験文献からは、魚介類の生存、行動異常及び生理的变化に係るDOの値（以下、「DO耐性評価値」という。）を分類群別及び発育段階別に導出する。

生存に係るDO耐性評価値については、魚介類の個体群が維持されるDOレベルとして、感受性の高い個体の生存までは考慮せず、5%致死濃度（以下、「LC<sub>5</sub>」という。）を導出することとした。

行動異常に係るDO耐性評価値については、実験におけるばく露の終了時点における行動異常の観察個体数と各実験区のDOとの関係より、対照区と比較したときに、定められたばく露期間内で統計的に有意な影響を与えないDOを導出する。また、生理的变化に係るDO耐性評価値については、低酸素下の酸素消費量の変化の測定結果より、酸素消費量が低下に転じた時のDOを導出する。

なお、二枚貝類のうち、着底し底生生活へ移行した個体については、無酸素でも数日間であれば殻を閉じて耐えることができる種が多いことから、急性影響の観点によるLC<sub>5</sub>は導出せず、低DOにおける致死時間に関する情報を整理した。また、二枚貝類の発育段階初期（幼生及び着底前後）の個体については、魚類及び甲殻類等の稚仔魚と同様に環境の変化に対して受動的であることから、LC<sub>5</sub>の検討が必要であるが、現時点では知見が無いため、今後の検討課題とした。

#### (イ) 現場観測文献におけるDO耐性評価値の導出

現場観測文献からは、魚介類の生存に係るDO耐性評価値のみを、魚介類の生息分布位置において測定されたDOから導出する。

なお、DO耐性評価値の導出は次のとおりとする。生物の分布図（平面分布図、漁場メッシュ図等）と等DO分布図との重ね合わせによる場合は、密度が高いエリアのDOの下限値を読み取り、DO耐性評価値とする。出現密度と底層DOとの相関図を用いる場合は、高い出現密度を示すプロットに対応するDOを読み取り、DO耐性評価値とする。

### 4) 底層DO目標値の導出及び設定

#### (7) 魚介類の生息域の確保のための底層DO目標

魚介類の種別の生息域の確保のための底層DO目標値は、実験文献から導出した未成魚から成魚（未成体から成体）の生存に係るDO耐性評価値又は現場観測文献から導出したDO耐性評価値を用いて設定する。

なお、本目標値を設定するための実験文献及び現場観測文献が無い種でも、その種の再生産の場の確保のための底層DO目標値が設定できた場合は、その値により補完することとした。さらに、再生産の場の確保のための底層DO目標値も設定できない種については、混獲データにより底層DO目標値が補完できるか検討することとした。

#### (イ) 魚介類の再生産の場の確保のための底層DO目標

魚介類の種別の再生産の場の確保のための底層DO目標値は、実験文献又は現場観測文献から導出した卵・仔稚魚の生存に係るDO耐性評価値及び実験文献から導出した未成魚から成魚の行動異常及び生理的变化に係るDO耐性評価値を用いて設定する。

なお、本目標値を設定するための実験文献及び現場観測文献が無い種でも、その種の生息域の確保のための底層DO目標値が設定できた場合は、その値により目標値を補完することとした。

#### (ウ) 無生物域の解消のための底層DO目標

無生物域の解消のための底層DO目標値は、実験文献又は現場観測文献から導出した生存に係るDO耐性評価値を用いて設定する。

なお、海域では、底層のDOが1 mg/Lを下回るようになると、底泥において嫌気性細菌による有機物の分解がすすみ、その過程で生物に有害な硫化水素が発生することが知られている<sup>3</sup>。したがって、DOが1 mg/L以下となる条件での実験及び現場観測については、硫化水素による複合的な影響を考慮して数値を整理することとする。



## 4.2.2 目標値の指定水域への適用に当たっての考え方

### (1) 水域類型区分の設定

前述の底層DOに係る「目標設定に当たっての考え方」に基づき得られた底層DO目標値は、これまで目標値を設定できた種（以下、「目標設定種」という。）に関する限り、2 mg/Lから5 mg/Lの範囲にあった。このため、2 mg/L、3 mg/L、4 mg/L及び5 mg/Lの底層DO目標値に区分し、それぞれの区分に該当する目標設定種を対応させ、水域類型区分を設定した（表 1～表 3）。

なお、魚介類の低DO耐性に関する知見が十分に得られなかったため、指定水域に生息する又は生息していた水生生物のうちDO目標値が設定できた種は少なかった。特に、既に絶滅した種、飼育が困難な種又は既に漁獲が大幅に減少した種等は目標値を設定することができなかった。このため、今後、新たな底層DO目標値を設定するためには、これらの種の低DO耐性及び漁獲された時期又は生存が確認された時期の水質状況等に関する調査・研究が必要である。

表 1 魚介類の生息域の確保のための底層DO目標の水域類型区分

水域類型	水生生物の生息状況の適応性	底層 DO 目標値
a	溶存酸素の減少に対する耐性が著しく弱い魚介類でも成魚及び未成魚段階で生息できる水域及びb類型以下の欄に掲げる水域。 目標設定種：トラフグ	5mg/L 以上
b	溶存酸素の減少に対する耐性が弱い魚介類でも成魚及び未成魚段階で生息できる水域及びc類型以下の欄に掲げる水域。 目標設定種：スズキ、マナマコ	4mg/L 以上
c	溶存酸素の減少に対する耐性が弱い魚介類を除く種が成魚及び未成魚段階で生息できる水域及びd類型の欄に掲げる水域。 目標設定種：カサゴ、マダイ、ハタタテヌメリ、ネズミゴチ、マコガレイ、クルマエビ及びシャコ	3mg/L 以上
d	溶存酸素の減少に対する耐性が強い魚介類が成魚及び未成魚段階で生息できる水域。 目標設定種：マハゼ、ヨシエビ、サルエビ及びガザミ	2mg/L 以上

【備考】

カサゴ、マダイ、ネズミゴチ、クルマエビ及びマナマコの溶存酸素の減少に対する耐性は、魚介類の再生産の場の確保のための底層DO目標（産卵行動及び貧酸素に脆弱な卵期・仔魚期・稚魚期（稚エビ期、稚ガニ期）の段階での目標）から導いた値である。

表 2 魚介類の再生産の場の確保のための底層DO目標の水域類型区分

水域類型	水生生物の生息状況の適応性	底層 DO 目標値
特 a	溶存酸素の減少に対する耐性が著しく弱い魚介類でも、産卵行動及び卵期・仔魚期・稚魚期（稚エビ期、稚ガニ期等）の段階で利用できる水域及び特 b 類型以下の欄に掲げる水域。 目標設定種：トラフグ	5mg/L 以上
特 b	溶存酸素の減少に対する耐性が弱い魚介類でも、産卵行動及び卵期・仔魚期・稚魚期（稚エビ期、稚ガニ期等）の段階で利用できる水域及び特 c 類型以下の欄に掲げる水域。 目標設定種：スズキ、ガザミ及びマナマコ	4mg/L 以上
特 c	溶存酸素の減少に対する耐性の弱い魚介類を除く種が、産卵行動及び卵期・仔魚期・稚魚期（稚エビ期、稚ガニ期等）の段階で利用できる水域及び特 d 類型の欄に掲げる水域。 目標設定種：カサゴ、マダイ、ハタタテヌメリ、ネズミゴチ、マハゼ、マコガレイ、クルマエビ及びシャコ	3mg/L 以上
特 d	溶存酸素の減少に対する耐性の強い魚介類が、産卵行動及び卵期・仔魚期・稚魚期（稚エビ期、稚ガニ期等）の段階で利用できる水域。 目標設定種：ヨシエビ、サルエビ	2mg/L 以上

【備考】

1. スズキ、ヨシエビ及びサルエビの溶存酸素の減少に対する耐性は、魚介類の生息域の確保のための底層DO目標（成魚及び未成魚の段階での目標値）から導いた値である。
2. カサゴ、マダイ及びネズミゴチの溶存酸素の減少に対する耐性は、酸素消費量の測定実験（行動異常や斃死が起こるDOレベルとの関係性が明らかでない）から設定された値である。

表 3 無生物域の解消のための底層DO目標の水域類型区分

水域類型	水生生物の生息状況の適応性	底層 DO 目標値
e	内湾域の底層を利用する魚介類以外を含めた水生生物のうち、貧酸素耐性が最も強いと考えられる生物の生存が確保される水域。 目標設定種：シノブハネエラスピオ	2mg/L 以上

## (2) 保全対象種の選定

指定水域に底層D O目標値を適用する目的は、当該水域の水生生物の保全にある。過去に記録されたすべての種の生息及び再生産を回復し、保全することが望ましいが、それは必ずしも現実的でない。

したがって、水域類型区分の指定水域への当てはめにあたっては、保全対象となる水生生物の種類（以下、「保全対象種」という。）を選定する必要がある。これらは、釣り等のレクリエーションも含めて水産資源保全に係わる種及び健全な生態系の保全に係わる種等、複数の対象種が想定される。その選定に当たっては、各指定水域の関係自治体及び漁業関係者、さらには指定水域に係わる多くの関係者の利害等も踏まえた検討を行い、指定水域毎に保全対象種を選定する必要がある。

なお、設定後も、目標値が設定できなかった種の科学的な知見が得られるなど、保全対象種の追加が生じた場合には、適宜見直しを行うことが必要である。

## (3) 保全対象種の利用水域及び利用期間

選定した保全対象種は、必ずしも指定水域の全域を利用するわけではなく、種によってそれぞれその生息域が異なる。したがって、魚介類の生息域の確保のための底層D O目標値は、原則として保全対象種が利用する水域（以下、「利用水域」という。）に当てはめる必要がある。

一方、水生生物は産卵から仔魚期、稚魚期等、その種の生活史に応じて、特定の水域や水深を特定の期間利用する。このため、必ずしも年間を通じた目標値の適用を行う必要はない。したがって、魚介類の再生産の場の確保のための底層D O目標値を指定水域内のある水域への当てはめは、当該水域を利用する保全対象種の利用水域及び利用期間を考慮する必要がある。

なお、当然のことながら、保全対象種の利用水域の全域において、底層D O目標値を達成することが望ましい。しかし、利用水域の全域で保全しなくても保全対象種の現存量の減少が懸念されない場合もある。また、保全対象種の利用水域として想定されても、海水の水平方向の交換や鉛直方向の混合が生じにくい場合、底層D O目標値を達成することがきわめて困難な水域もある。このような場合には、当該種の保全に係わる水域類型の当てはめ水域に留意する必要がある。

## (4) 水域類型の当てはめ

指定水域内における水域類型の当てはめに際しては、上述のように保全対象種並びにその利用水域及び利用期間を考慮する必要がある。保全対象種は一般に複数となる。したがって、指定水域におけるすべての保全対象種を保全するためには、全保全対象種の底層D O目標値のうち最も厳しい目標値に対応する水域類型を当てはめることとなる。

なお、各保全対象種には魚介類の生息域の確保のための底層D O目標と魚介類の再生産の場の確保のための底層D O目標とがあるが、魚介類の再生産の場の確保のための底層D O目標値は魚介類の生息域の確保のための底層D O目標値と比較して同一か大きな値で

ある。保全対象種の保全には魚介類の再生産の場の確保のための底層D O目標が達成されなければならないため、同一水域でこれら2つの目標値が重なる場合、より大きな値となる魚介類の再生産の場の確保のための底層D O目標を適用することとする。

#### 4.2.3 底層D Oの目標値の達成評価方法

##### (1) 底層D O目標値の達成評価の対象期間

魚介類の生息域の確保のための底層D O目標及び無生物域の解消のための底層D O目標は、一年を通じて生息する水生生物の保全を目的とするため、その評価の対象期間は通年とすることが適当である。一方、魚介類の再生産の場の確保のための底層D O目標は、水生生物種ごとに再生産の時期（産卵期及びその後の卵期・仔魚期・稚魚期（稚エビ期、稚ガニ期等））が異なる。このため、再生産の時期に対応した期間を対象とすることが適当である。

##### (2) 達成評価のためのモニタリング方法

###### 1) モニタリング頻度

###### <連続測定>

底層D Oは同一地点でも季節変動及び日変動が大きいことが知られている。一方、底層D O目標値の達成評価対象期間は、魚介類の生息域の確保のための底層D O目標及び無生物域の解消のための底層D O目標では通年、魚介類の再生産の場の確保のための底層D O目標では目標設定種毎に再生産の時期を対象とすべきである。また、水生生物の保全への影響は、底層D O目標値を下回る期間の長さや頻度によって異なることを考慮する必要があると考えられる。このため、連続測定により得られた底層D O測定結果を使用することが望ましい。

しかしながら、船舶の航行等への支障の問題から、連続測定を実施している地点数は現在、極めて少ない。今後、より多くの地点での連続測定の実施に向けた検討を進めることが必要であろう。

###### <定期測定>

連続測定が困難な水域においては、定期的な底層D O測定が必要となる。この観点からは、定期的な水質測定を実施している公共用水域水質測定調査（月1回）あるいは広域総合水質調査（年4回）で得られた測定結果を活用することが現実的である。

ただし、定期測定に頼る場合には、可能な限り底層D Oの最低値を把握できるように観測日と頻度を設定することが望ましい。例えば、当該水域における過去の定期測定結果と底層D Oの連続測定結果を比較した上で、底層D Oの最低値が出現しやすい気象・海象条件（例えば、潮時（潮齢）や無降雨期間、高水温期間、弱風（風向も含む）期間が継続したような場合）を推定し、そのような条件を満たす日時にモニタリングを実施するなどの工夫が必要であろう。また、年間の測定回数が同じであっても、底層D Oが低下しやすい夏季に集中して観測する等の工夫も必要であろう。

## 2) モニタリング地点

水域類型の当てはめがなされた水域における底層DOの面的分布を可能な限り正確に推定できるようモニタリング地点を設定することが必要である。

例えば、当てはめた水域を一定間隔のメッシュ（例：一辺数kmの水域）で分割し、そのメッシュにモニタリング地点を設置することが考えられる。ただし、すべてのメッシュにモニタリング地点を設定することは困難である。

一方、保全対象種となる水生生物ごとに、産卵に利用することが多い水域、漁獲量が多い水域等、その生存水域は均一ではない。したがって、保全対象種の生息域の分布を考慮して、高密度、高頻度の存在地点に重点をおいたモニタリング地点の設定などの工夫が考えられる。

また、過去の測定結果にもとづく底層DOの面的分布状況を踏まえ、底層DOが低下しやすい地点や底層DO分布状況を推定できる地点を抽出し、これらの地点をモニタリング地点として設定することも考えられる。

## 3) 測定方法

測定方法は、「水質汚濁に係る環境基準について」（昭和46年12月28日環境庁告示第56号）に示す日本工業規格K0102 32に定める方法又は電極を用いる水質電動監視測定装置によりこれと同程度の計測結果の得られる方法とする。

## 4) モニタリング水深

底層DOは、表層から底層への酸素供給の不足や底泥の酸素消費によって低下することから、底泥表面に近づくほど低下する可能性がある。また、カレイ類やヒラメのような底魚類及び貝類やゴカイのような底生生物にとっては底泥直上のDOが、その生息や再生産に対して重要と考えられる。このため、底泥直上でDOを測定することが望ましい。しかしながら、底泥直上でのDO測定は、浮泥や軟泥の存在によってその位置の特定が困難であること、また、測定作業に伴う底泥の巻き上げ等による底層DOの更なる低下をもたらす可能性があることから、現場での測定は困難である。

一方、現場観測文献によって設定した底層DO目標値は概ね海底上1mを対象としている。このため、達成評価に用いる底層DOのモニタリング水深は海底上1mとすることが適当である。また、公共用水域水質測定調査及び広域総合水質調査の調査水深（採水層）は海底上1m（水深5m未満の地点では0.5m）であるため、この場合には、今まで蓄積されたモニタリング結果との継続性が確保できることが大きな利点として挙げられる。

なお、実験文献により設定した底層DO目標値は、水槽内のDOを均一に設定した飼育実験から得られている。したがって、設定されたDOは海底直上水のDOに対応することになり、海底上1mでのDO目標値の達成が、必ずしも海底直上での目標値の達成を意味しない。今後、海底直上と海底上1mでのDOにどの程度の差があり得るかを調査し、海底上1mのモニタリングがどの程度の誤差を持つか明らかにしていく必要がある。

### (3) 底層DO目標値の達成評価方法

保全対象種の利用水域は面的な広がりを有するとともに、保全対象種の多くは移動性のある水生生物である。また、底層DOの分布も季節、日時によって変化する。さらに、保全対象種の利用水域の利用期間は種ごとに異なり、底層DOも季節的な変化が大きいことから、底層DO目標値の達成評価は、時間的、空間的な観点からの評価方法を検討することが必要である。

これらについて、今後の統計学的な検討及び水生生物学的観点（例えば、達成率と水生生物の生息量及び再生産量との関係等）からのより一層の検討が望まれる。また、目標値の達成率の評価方法については、指定水域の関係自治体及び指定水域に係わる関係者との検討も踏まえる必要がある。



## 4.3 透明度の目標設定

### 4.3.1 目標設定に当たっての考え方

#### (1) 透明度の目標設定の目的

閉鎖性海域の中での浅海域の特徴は、高い生産性にあり、これを支える環境要素のひとつとして海中へ届く光の量（水中光量）を左右する透明度がある。透明度が低ければ、水中光量が少なくなり、海藻草類など水生植物の光合成が妨げられる。その結果、水質浄化、生物の生育・生息機能が働かなくなり生態系の劣化につながる。

また、透明度は親水利用に大きく関わっており、水の濁りにより透明度が低下すると、水辺空間の景観は損なわれ、水辺の親水機能は低下する。

このような課題を踏まえ、透明度の低下による海藻草類の生育と親水利用への影響を少なくし、良好な海域環境を回復するために、海域における適切な透明度の目標を設定する必要がある。

#### (2) 設定する透明度目標の種類

透明度は、浅海域に生息する海藻草類に必要な水中光量を左右する要素であり、海藻草類の生育によって形成される藻場は、基礎生産、デトライタス食物連鎖と一次消費者の維持、産卵場及び保育場、摂餌場及び隠れ場、環境の安定化及び流れ藻の供給といった機能を有することから、様々な生物の生息にも密接に関連する。

また、透明度は景観的な要素を示し、水の透明さを表す市民にわかりやすい指標である。海域の親水機能を発揮させるためには、それに対応する水の透明さが必要である。

上記の観点を踏まえ、以下に示す2種類の透明度の目標を設定することとした。

##### 1) 海藻草類の生育に必要な透明度の目標

海藻草類の生育に影響を及ぼす環境要因は、水中光量、付着基盤、水温等の物理的要因、塩分、栄養塩濃度等の化学的要因、波や流れ、潮汐による干出等の動力的要因等がある<sup>4</sup>。これらのうち、水中光量は、植物である海藻草類にとって、最も重要な環境要因の1つであり、閉鎖性海域においては制限因子になりやすい。したがって海藻草類の生育に必要な光量が確保できる透明度の目標を設定する。

なお、本検討において海藻草類の生育とは、海藻草類が生長、生残し、かつ再生産することと定義する。また、海藻草類が形成する藻場は、基礎生産の場、魚介類の産卵場、保育場、摂餌場及び隠れ場等、様々な機能を有することから、海藻草類の生育に必要な透明度目標値は、藻場を構成する種が生活史を通して生長、生残して再生産が行われ、藻場が維持されるレベルとすることとした。

##### 2) 親水利用からみた透明度の目標

親水利用の観点からは、海域の親水利用が支障なく行われる透明度を目標として設定す

---

<sup>4</sup> Dawson, E.Y. (1965) Marine Botany, an Introduction. pp371

る。

透明度の目標を設定するにあたっては、適用する当該海域における親水利用行為を選定するとともに、親水利用に関する透明度の判定基準に、親水利用には景観的な要素も含まれることから景観の要素としての観点を含めて、目標を設定する。

なお、親水利用からみた透明度目標値は、様々な親水利用行為が支障なく行われるレベルととすることとした。

### (3) 海藻草類の生育に必要な透明度の目標値の設定方法

#### 1) 検討対象種の選定

透明度の目標を設定するにあたり、海藻草類の検討対象種は「当該海域に現存する藻場」の構成種から選定する。また、文献等により、過去に確認されている藻場構成種が明らかな場合には、その種も含めることとする。

#### 2) 透明度目標値の導出及び設定に用いる情報

透明度目標値の検討に用いる情報としては、検討対象種である海藻草類の生育に必要な最低光量に関する記載がある文献とする。生育に必要な最低光量に関しては、実海域における検討対象種の分布下限水深の光量が記述されている文献や、水槽等を用いた培養実験で光量条件に対する海藻草類の生育状況が記述されている文献、プロダクトメーター（差働式検容計）などを用いて光合成、呼吸速度を測定した文献を用いることとした。

#### 3) 検討対象種の検討対象種の生育に必要な最低光量の導出

実海域の分布下限水深における調査結果は、海中での波や流れなど、様々な影響を受けて決定されている分布下限水深における水中光量であり、実海域で検討対象種が長期間に渡って生育できる最低光量と考えられる。

一方、人為的に光条件のみを変えて生育状況を観察した水槽実験や光合成及び呼吸を測定する光合成実験の結果は、条件が整った環境下での値あり、実験期間が短期間であるものがほとんどであることから、生育できる最低光量が把握できるものの、実海域において長期間生育できる光量としては過小評価である可能性があると考えられる。

現地調査により得られた実海域の分布下限水深の光量を優先的に用いて、水槽実験や光合成実験により得られた結果は、現地調査で得られた生育に必要な光量の妥当性の検証に用いることとし、検討対象種の生育に必要な最低光量を導出することとした。

#### 4) 必要光量からみた目標透明度の算出

検討対象種の生育に必要な最低光量から透明度目標値の設定までの方法は以下の通りである。

水中での光量の減衰はL a m b e r t - B e e rの法則に従うと式 1 のとおりである。前述の 3) において求めた「検討対象種の生育に必要な最低光量」(A) に対して、「海面直下の光強度」(B) を求め、今後確保すべき分布下限水深(z) において、検討対象種の生育に必要な最低光量(A) を確保するために、維持すべき光の減衰係数kを設定する(式 2)。

$$A = B \cdot \exp(-kz) \quad (\text{式 1})$$

( $A$  : 水深  $z$  における水中光量、 $B$  : 水面直下の水中光量、 $k$  ; 減衰係数)

$$k = -\frac{1}{z} \ln(A/B) \quad (\text{式 2})$$

減衰係数と透明度は、Poole and Atkins (1929) に従い、得られた光の減衰係数  $k$  をもとに、海域の特性によって異なる定数 ( $D$ ) を設定し、今後、検討対象種の生育を確保すべき分布下限水深ごとに目標透明度 ( $Tr$ ) を算定する (式 3)<sup>5</sup>。

$$Tr = D/k \quad (\text{式 3})$$

( $d$  : 定数、 $Tr$  : 透明度)

## 5) 現場データによる検証

上記 4) において、生育に必要な最低光量をもとに日射量や減衰係数を用いて算定した透明度目標値について、当該海域の藻場における分布下限水深と透明度の実測値に関する情報を収集し、実際の現場データと比較して大きく乖離がないか確認することにより、設定した目標値の妥当性を検証する。

## (4) 親水利用からみた透明度の目標値の設定方法

### 1) 保全対象とする親水利用行為の設定

透明度の目標を設定するにあたり、保全の対象とする親水利用行為を設定する。親水利用行為としては、海中展望、ダイビング、海水浴、釣り、散策及び眺望があり、適応する海域で行われている行為を抽出し、設定する。

### 2) 透明度目標値の導出及び設定に用いる情報

親水利用からみた透明度の目標値の検討では、親水利用行為に係る透明度の判定基準及び目安となる資料並びにこれまでの水質汚濁の環境基準の設定の検討資料のうち、透明度をもとに基準値を設定した資料を用いた。

### 3) 親水利用行為の透明度の目標値の設定

親水利用行為別に透明度に関する判定基準や目安等を用いて、当該海域の各親水利用行為に対して透明度の目標値を設定する。

---

<sup>5</sup> Poole, H. H. and W. R. G. Atkins. (1929) Photo-electric measurements of sub-marine illumination throughout the year. Jour. Mar. Biol. Assoc. U. K. 16, pp297-324.

#### 4.3.2 目標値の指定水域への適用に当たっての考え方

##### (1) 水域類型区分の設定

前述の透明度に係る「目標設定に当たっての考え方」に基づき得られた海藻草類の生育に必要な透明度の目標は海藻草類の種によって異なる。また、親水利用からみた透明度の目標は親水利用行為によって異なる。

海藻草類の生育に必要な透明度の目標値を設定できた種（以下、「目標設定種」という。）は、アマモ、アラメ及びカジメである。海藻草類の生育に必要な透明度の目標の水域類型区分は、目標設定種であるアマモ、アラメ及びカジメの透明度の目標値並びに目標値に応じた生育下限水深から、5つの類型に分けて設定した（表4）。

なお、海藻草類の生育に必要な光量に関する知見が十分に得られなかったため、指定水域に生育する又は生育していた海藻草類のうち透明度目標値を設定できた種は少なかった。目標値を設定できなかった海藻草類のうち、指定水域でその資源の保全及び回復が求められる種は、表4に掲げる目標値より高い目標値が設定される可能性がある。このため、今後、新たな透明度目標値を設定していくには、これらの種の生育に必要な透明度及び生育が確認された時期の水質状況等の調査・研究が必要である。

親水利用からみた透明度の目標値を設定できた行為（以下、「目標設定行為」という。）は、海中展望及びダイビング、海水浴並びに釣り、散策及び眺望である。親水利用からみた透明度の目標水域類型区分を設定した（表5）。

表4 海藻草類の生育に必要な透明度の目標に係わる透明度目標値の水域類型区分

水域類型	海藻草類の生育状況の適応性			透明度目標値
	生育下限水深 (m)			
	透明度の低下に対する耐性が弱い海藻草類でも生育できる水域。 目標設定種：アマモ	透明度の低下に対する耐性が弱い海藻草類を除く種が生育できる水域。 目標設定種：アラメ	透明度の低下に対する耐性が強い海藻草類が生育できる水域。 目標設定種：カジメ	
海藻草類 a	8	10	13	8m 以上
海藻草類 b	6	7	9	6m 以上
海藻草類 c	5	6	8	5m 以上
海藻草類 d	4	5	6	4m 以上
海藻草類 e	3	3	5	3m 以上

表5 親水利用からみた透明度の目標値の水域類型区分

水域類型	利用目的の適応性案	透明度目標値
親水 a	海中展望・ダイビングに利用される水域	10m以上
親水 b	釣り、散策及び眺望に利用される水域	2m以上
親水 c	海水浴に利用される水域	1m以上

【備考】

1. 対象とする海域は、釣り場は指定水域全域、他の親水利用の場の沿岸から500m以内である。
2. 海中展望・ダイビングについて、これらの行為に利用されている海域で水深が10m未満の場合は全透とする。

## (2) 保全対象種及び親水利用行為の選定

指定水域に透明度目標値を適用する目的は、当該水域の海藻草類が保全され、親水利用が支障なく行われることにある。海藻草類については、指定水域において、過去、現在において記録されている全ての種を保全することが望ましいが、それは必ずしも現実的ではない。

したがって、水域類型区分の指定水域への当てはめにあたっては、保全対象となる海藻草類の種類（以下、「保全対象種」という。）、親水利用行為を設定する必要がある。海藻草類は砂地や岩礁など、その生育基盤や水深によって生育する種が様々存在する。したがって、一つの水域に複数の種が生育する場合もある。同様に、同一海域で複数の親水利用行為が行われる場合がある。

この選定に当たっては、指定水域において生態系の保全のために重要な海藻草類、減少が著しい海藻草類、行われている親水利用等を踏まえて、各指定水域の関係自治体、指定水域に係わる多くの関係者の利害等も踏まえた検討を行い、指定水域毎に海藻草類の保全対象種、親水利用行為を選定する必要がある。

なお、今後、目標値が設定できなかった海藻草類の生育に必要な透明度に関する知見が得られ保全対象種の追加が生じた場合又は親水利用に変化が生じた場合には、適宜見直しを行うことが必要である。

## (3) 保全対象種及び親水利用行為の利用水域及び利用期間

透明度の目標値を指定水域へ適用する場合、まず、海藻草類の保全対象種の生育が期待される生育下限水深（生育範囲）又は親水利用が期待される水域（以下、「利用水域」という。）を選定する必要がある。

海藻草類の利用水域は、保全対象種の生育下限水深と指定水域の水深分布とを照合して決定することとなる。この際、透明度目標値に対する生育下限水深は種ごとに異なり、加えて生育する種は生育基盤に依存することに留意する必要がある。

親水利用行為の利用水域としては、親水利用が行われる場周辺において、人の視距離の範囲を選定する必要がある。人の視距離に関して、篠原は、視距離に応じた広葉樹の見え方の変化区分において、近景域を340m以内としている<sup>6</sup>。また、進士らは、建築表面の模様や形の複雑さを認知できる視距離が500m以内であると報告している<sup>7</sup>。このため、親水利用の場（場が陸域の場合は海岸や岸壁、場が水域の場合はその行為の活動範囲）から500mの範囲を対象とすることとした。なお、釣りは遊漁船やプレジャーボート等から行われることも想定され、水域全体が親水利用の場となる可能性があることに留意する必要がある。

利用期間については、海藻草類の保全対象種は多年生であり、生活史の中で衰退期、繁茂期があるものの、通年、生育している。親水利用行為のうち、海水浴は夏季に行われるが、他の行為は通年で行われる。

<sup>6</sup>篠原修(1980)景観のデザインに関する基礎的研究，東京大学学位論文

<sup>7</sup>進士五十八，麻生恵(1979)風景と建築の調和技術（上），国立公園 356

#### (4) 水域類型の当てはめ

指定水域内における水域類型の当てはめに際しては、上述のように海藻草類の保全対象種の利用水域、親水利用行為の利用水域を考慮する必要がある。

透明度の水域類型は、指定水域内の全ての海藻草類の保全対象種の保全と同時に、親水利用行為に支障がないよう、両目標のうち最も厳しい目標値に対応する水域類型を当てはめることとなる。

### 4.3.3 透明度の目標値の達成評価方法

#### (1) 透明度目標値の達成評価の対象期間

海藻草類の生育に必要な透明度の目標は一年を通じた海藻草類の保全を目的としていることから、達成評価は通年の観測に基づく年平均値で行うことが適当である。

海水浴を除く目標設定行為の親水利用からみた透明度の目標も一年を通じて親水利用が支障なく行われることを目的としていることから、達成評価の対象期間は通年とすることが適当である。また、海水浴に係る目標値の達成評価の対象期間は、利用期間である夏季とすることが適当である。

#### (2) 達成評価のためのモニタリング方法

##### 1) モニタリング頻度

透明度は、夏季に植物プランクトンの増殖による低下が見られる等、季節的な変化がある。また、海藻草類の生育に必要な透明度の目標における対象水域は比較的水深の浅い沿岸域に位置するため、気象条件（高波浪に伴う濁水、降雨に伴う河川等からの濁水の出水）による変動も生じる。一方、海藻草類の生育に必要な透明度の目標及び海水浴を除く目標設定行為の親水利用からみた透明度の目標の達成評価はともに通年を対象としている。これらの目標達成評価のためには、年間を通じた定期的な測定を実施することが望ましい。定期的な測定調査として、公共用水域水質測定調査（月 1 回）があり、これらで得られた測定結果を活用することが考えられる。

海水浴に係る目標値では、達成評価の対象期間が夏季である。現在、海水浴場では「水浴場の水質の判定基準」（環境省, 1997）に基づき、自治体による調査が実施されているため、モニタリング頻度はこの調査と同様とすることが考えられる。

##### 2) モニタリング地点

透明度の達成評価には、水域類型当てはめがなされた水域の透明度を面的に把握できる測定地点を検討する必要がある。

測定地点は、当てはめた水域全域の透明度の面的状況を可能な限り正確に推定できるような配置が望ましい。また、当てはめた水域の浅海域を把握（推定）することができるように、当てはめた水域の最深部（例えば生育下限水深）付近又はそれよりも深い地点とすることを基本とする。ただし、当てはめた水域の透明度が一様であることに確認する必要があり、一様でない場合には当てはめた水域内への測定地点の設定について検討する必要



がある。

なお、現実的には測定地点として、指定水域において実施されている調査（公共用水域水質測定調査あるいは広域総合水質調査）の測定地点が候補として考えられるが、個々の当てはめ水域全てに対応できているとは限らないことから、必要に応じて測定地点の追加を検討することが想定される。

### 3) 測定方法

測定方法は、「海洋観測指針（第1部）」（1999、気象庁編集）の「3.2 透明度の測定」に示された方法とする。この方法は、透明度板（「Secchi disk」とも言う。）という直径30cmの白色の平らな円盤を水平に海水に降ろし、上からみてこれが見えなくなる限界の深さを測定するものである。

#### (3) 透明度目標値の達成評価方法

海藻草類の保全対象種及び親水利用行為の利用水域は面的な広がりを有している。また、透明度の分布も季節、日時によって変化する。このことから、透明度目標値の達成評価は、時間的、空間的な観点からの評価方法を検討することが必要である。

親水利用においては、透明度が流入河川や気象・海象等の影響を受け変動するが、透明度が低下するような流入河川や気象・海象等の状況では一般的に親水利用が少なくなることとを考慮すると、常に目標値を上回る必要はないと言える。

以上のことから、海藻草類の生育に必要な透明度の目標では、海藻草類の生育が求められる水域は、保全対象となる海藻草類や対象水域の特性によって異なることに留意する必要がある。親水利用からみた透明度の目標を当てはめる水域は、指定水域の将来的な利用状況の検討を行った上で設定する必要がある。

## 5. 閉鎖性海域環境保全のための将来に向けた取組

### 5.1 将来に向けた対策

水生生物の生息環境が健全に保たれるよう、また生物の再生産の場の確保のため、新たに底層DO及び透明度の目標が提案された。今後はこれらの目標を達成するため、既存の指定項目であるCOD、T-N、T-Pのみならず、底層DO、透明度の改善を意識した対策の在り方が求められることとなる。水質が悪化している水域においては、更なる汚濁負荷削減を進め、一方、水質の改善が進んでいる水域においては、適切な水質管理がなされるよう将来の対策を考える必要がある。また将来の対策は、水質総量削減開始当時である昭和54年度からの努力量も加味し、実現可能な範囲内において実施すべき対策を整理した。

#### (1) 陸域対策

陸域対策としては、発生量を減らすことにより汚濁負荷を削減する発生源対策、処理施設等を導入することにより汚濁負荷を削減する排出源対策、地下浸透能力を向上させたり貯留池を設置したりすることにより、降雨時の表面流出の抑制や河川流量をコントロールする流量管理対策などがある。

##### 1) 生活系

生活系からの汚濁負荷は、主に下水処理場、合併処理浄化槽等で処理されている。これらの処理水や、単独処理浄化槽、し尿処理場からの処理水、未処理の生活雑排水（家庭）が公共用水域に流入している。

生活系の汚濁負荷対策としては、下水道の整備や合併処理浄化槽の設置とともに、単独処理浄化槽・し尿処理場（くみ取り）により処理されている家庭の下水道への接続、合併処理浄化槽への改良の推進などにより下水道・合併処理浄化槽の普及率を向上させるなど、生活雑排水の処理率を向上させることが最も主要な対策である。

下水処理場・合併処理浄化槽においては、併せて高度処理化を進めることで、放流水質の更なる改善を進めるものとする。これらは生活排水処理率の高い東京湾などでは特に有効な対策であると考えられる。

東京湾・大阪湾などの大都市域においては、合流式下水道が数多く存在している。合流式下水道は、出水時において処理場構内で処理しきれない量を雨水吐口から公共用水域に排出しており、これが公衆衛生上の問題とも相まって問題とされてきている。これらの問題を改善するため、合流式下水道改善事業が実施されており、同下水道が存在する地域では、有効な対策となっている。

単独処理浄化槽・し尿処理場については、下水道への接続や合併処理浄化槽への改良の推進を行うとともに、これらの施設へ接続するまでは、特に生活排水対策への意識を十分高めることとする。そのためには、行政側も啓発を行うなどして、生活排水対策の重要性を十分認知させることとする。

合併処理浄化槽・単独処理浄化槽については、浄化槽の清掃・点検を定期的に行い、浄化槽が本来有する浄化機能を十分引き出すことが要求される。

## 2) 産業系

産業系からの汚濁負荷は、主に指定地域内事業場（工場・事業場）、小規模事業場、未規制事業場から排出されている。

大規模工場・事業場は、それぞれに課せられた排水基準、水質総量規制基準を遵守することが求められる。そのためには、従来と同様、原材料の見直しや排水の合理化などの発生源対策や処理施設の設置・保守、高度処理施設の導入などによる処理段階での対策を推進することが考えられる。また下水道への接続により、より高い処理効率で汚濁負荷量を減らすことが可能である。

小規模事業場は、特定事業場として届出を行っているが、その届出値を遵守することが求められる。自治体によっては、条例等により排水基準が適用されていることもあり、これらの基準値も同様に遵守することが求められる。また、小規模事業場排水対策マニュアルや指導要綱などに従い、事業者の自主的な管理によって、大規模工場・事業場と同様な手法により汚濁負荷量を削減することも期待される。加えて下水道普及区域においては、下水道へ接続するなどして更に汚濁負荷の削減を行う。

未規制事業場は、特に規制する法令等はないが、自治体によっては条例の横出し等によって対象施設としていることもある。この場合は、その排水基準を遵守する必要がある。また、未規制事業場排水対策マニュアルや指導要綱などに従い、事業者の自主的な管理によって、大規模工場・事業場と同様な手法により汚濁負荷量を削減することも期待される。加えて下水道普及区域においては、下水道へ接続するなどして汚濁負荷の削減を行う。

行政側は工場・事業場への立入検査、特定事業場の水質汚濁防止法に基づく各種届出の審査等を通じ、法令・条例等を遵守しているかの確認を行う。また小規模事業場や未規制事業場への対策として、排水対策マニュアルや指導要綱の作成などを行い、該当事業場への啓発を行う。

## 3) その他系

その他系からの汚濁負荷は、主に畜産に伴う畜舎、各種土地利用（山林・農地・市街地など）に伴い流出するもの、養殖業により排出するものがあげられる。

畜舎に関しては、大規模なものは産業系の指定地域内事業場と同様に浄化対策が必要である。また畜舎一般に関し、「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」に基づき、自家処理（堆肥化・液肥化・焼却等）・経営外処理（共同処理施設の利用等）などにより適正に管理する。同法に基づく管理基準の対象外の施設においても同様な対策を自主的に進め、野積み・素掘からの排出を極力削減するものとする。加えて下水道普及区域においては、下水道接続するなどして汚濁負荷の削減を行う。

土地系のうち、農地に関する対策としては、農業環境の普及、「持続性の高い農業生産方式の導入の促進に関する法律」に基づくエコファーマーの認定促進、有機農業への参入促進、地域でまとまって環境負荷を低減する先進的な営農活動への支援により、環境保全型農業の実施（具体的には施肥の適正化）が進められている。このほか、排水管理の改善、表土の飛散防止、農業用排水路の浚渫などの対策が進められている。これらの総合的な対策が将来に渡り拡大するものとしている。

市街地に関しては、市街地排水処理施設により市街地排水を直接処理したり、雨水浸透施設を設置して表面流出を防ぐとともに地下水への涵養を促したりする。これらは結果的に公共用水域への流出を防ぐことになる。また、路面清掃の実施や緑被率の向上により、汚濁負荷の発生量を減らす効果が期待できる。

山林に関しては、間伐の推進等山林を適正に管理することで、表土流出を防ぎ、また地下水への涵養を促すことが可能となる。また、廃棄物の不法投棄を防ぐよう監視等を行い、上流域での水質保全を行う必要がある。

養殖業に関しては、内水面と海水面が存在するが、両者とも対策は同様であり、具体的には持続的養殖生産確保法に基づく養殖漁場の改善を促進するための措置であり、給餌の適正化や養殖場の適正管理がそれに該当する。

その他の対策として、河川水を直接処理する河川浄化施設の設置や、貯留池や貯留施設を設置し、出水時における流量を一時的に抑える流量管理対策などが挙げられる。

## (2) 海域対策

海域対策としては、主に自然浄化能力の向上を目的としている干潟・藻場の保全・再生、底質からの溶出抑制を目的としている浚渫、覆砂、深掘跡の埋戻しなどがある。

### 1) 自然浄化能力の向上

本来、指定水域内には水質浄化機能等を有する干潟が多数存在していた。既に多くの干潟は埋立されてしまったが、現在残っている干潟については可能な限り保全を行い、その能力の維持・拡大に努めることとする。また、立地条件によっては人工干潟の造成を行うものとする。

藻場は、多様な生物の生息や繁殖の場であるとともに、水質浄化機能も有していることから、干潟と同様既存の藻場はその維持・拡大を、立地条件によっては人工藻場の造成を行うものとする。

干潟・藻場を造成する場合には、過去や現在の干潟・藻場の存在等を良く調査し、干潟・藻場を利用する生物にとって、新たに造成した干潟・藻場が孤立しないよう考慮することが重要である。

### 2) 底質の改善

浚渫、覆砂、深掘跡の埋戻しなどの対策は、底質を改善するものであり、浚渫は溶出の原因物質を除去、覆砂は溶出の原因物質の覆被、深掘跡の埋戻しは貧酸素水塊の発生抑制を目的としている。

### 3) その他

その他の対策として、環境配慮型の港湾構造物の整備、エアレーションの導入、浮遊ごみ等の回収、小型船舶からの汚濁物質排出抑制、カキ養殖等生体浄化機能を活用した水質浄化など、様々な対策を総合的に実施する。

水質が改善しない理由の一つに底質の悪化があるが、これらの海域対策は底質の改善に

繋がるものであり、陸域からの負荷削減と並び、海域の水質改善の主要な対策である。

## 6. 閉鎖性海域の将来の水質予測について

### 6.1 中長期シナリオの作成

目指すべき海域環境を達成するため、必要となる流入負荷量削減及び海域直接浄化を実現するための対策群（計画項目と称する）及び背景となる社会動態や気象の変化（予測項目と称する）を盛り込んだ中長期シナリオを作成した。この中長期シナリオから作成された流入負荷量等をシミュレーションモデルへの入力条件として用い、シミュレーション結果から将来の水環境予測及び評価を行った。

#### (1) 予測項目

将来を考える上で、人為的に制御が難しい事象が存在しており、これらを予測項目として定義した。予測項目は具体的には人口と気象条件であり、現時点において最も確からしいと考えられる研究結果を用いることとした。

予測項目のうち、人口は国立社会保障・人口問題研究所の中位推計（平成20年12月推計）を用いることとし、一方、気象条件は21世紀気候変動予測革新プログラムの結果を用いることとした。

#### (2) 計画項目

汚濁負荷を算定するにあたっては、各種汚濁源に対し、将来どのような対策を実施するかを具体化する必要がある。これらの対策群を計画項目として定義した。対策は、具体的な計画値や目標値を有する計画性・実効性が高いものから、定性的な目標等に留まる計画まで千差万別である。ここでは、各種対策の実施内容及び設定に応じて、将来の汚濁負荷量を算定した。

表 6(1) 陸域における中長期シナリオの概要 (1/2)

区分	排出負荷量作成方法の概要
下水処理場	<ul style="list-style-type: none"><li>・流域別下水道整備総合計画（以降「流総計画」と称する）により、下水道からの排出負荷量が明らかになっている場合は、その値を参考として排出負荷量を設定する。</li><li>・既存の計画値が無い場合は、以下のとおりとする。</li><li>・下水道が普及することにより、生活系・産業系・その他系の各汚濁源の取込効果により、排水量が増加すると想定する。</li><li>・現況より将来水質が悪化しないことを前提として、排出負荷を計算する。また、高度処理を導入している処理場については、高度処理時の水質と高度処理人口普及率から排出負荷を計算する。</li></ul>
雨水吐	<ul style="list-style-type: none"><li>・現況再現時に利用した簡易シミュレーションモデルを用い、将来の気象条件を与えて改善前の負荷を計算する。その後、設定された面積改善率及び改善された地域の面積あたりの負荷削減率から改善後の負荷を計算する。</li></ul>
合併処理浄化槽	<ul style="list-style-type: none"><li>・各都府県の流総計画または汚水処理構想を活用し、将来の合併処理浄化槽普及率を設定する。浄化槽の高度処理化は順次進むものと想定されるが、ここでは現状の性能（水質）を保持するものと想定する。</li></ul>

表 6(2) 陸域における中長期シナリオの概要 (2/2)

区分	排出負荷量作成方法の概要
単独処理浄化槽 し尿処理場	・下水道及び合併処理浄化槽の将来設定後、雑排水未処理分人口が残る場合は、現状の人口比率で按分する。負荷量に関しては、現況との人口比で増減するものとする。
生活雑排水	・単独処理浄化槽及びし尿処理場人口設定後、原単位等は現況から変化ないものとして負荷を計算する。
工場・事業場 (50m <sup>3</sup> /日以上)	・下水道の普及により、一部の工場・事業場が取り込まれ、その分、排水量・負荷量が減少する。
工場・事業場 (50m <sup>3</sup> /日未満)及び 未規制工場・事業場	・下水道の普及により、一部の工場・事業場が取り込まれ、その分、排水量・負荷量が減少する。 ・条例等による基準値の遵守や、排水対策マニュアルや指導要綱などにより自主的に削減を行う
畜舎(50m <sup>3</sup> /日以上)	・下水道の普及による取込効果を考慮する。
小規模畜舎	・下水道の普及により、一部の畜舎が取り込まれ、その分、排水量・負荷量が減少する。 ・条例等による基準値の遵守や、排水対策マニュアルや指導要綱などにより自主的に削減を行う
農地	・環境保全型農業が将来に渡り普及・拡大すると想定し、同比率を推計する。 ・環境保全型農業を実施することにより、削減される負荷を整理し、同比率と削減率から将来負荷を計算する。
廃棄物最終処分地	・浸出水の適正管理により、現状の負荷より悪化させないこととする。
山林	・山林の適正な維持管理により、現状の負荷より悪化させないこととする。
市街地等	・市街地に雨水浸透施設を設置することにより、公共用水域に流出する負荷が削減されると想定する。 ・設置面積比率・設置時の負荷削減率を想定し、将来負荷を計算する。
養殖場(内水面)	・給餌が適正化されるなどして、現状の負荷より悪化させないこととする。
河川直接浄化	・直接浄化施設が現状の能力のまま作動し続けると想定する。



表 7 海域における中長期シナリオの概要

区分	排出負荷量作成に至る前提条件
覆砂・深掘跡埋戻し	・覆砂・深掘跡の埋戻しは実施されると想定するが、具体的な効果等の設定は設けないものとする。
浚渫	・底泥からの溶出対策その他の目的として、浚渫が実施されると想定する。浚渫土砂は覆砂等に活用されるものとするが、具体的な効果等の設定は設けないものとする。
養殖場(海水面)	・給餌が適正化されるなどして、現状の負荷より悪化させないこととする。
浄化能力の向上	・海域からの浄化能力向上対策として、藻場・干潟の保全、再生、創出が行われると想定するが、新たに創出される藻場・干潟に対しては、具体的な効果等の設定は設けないものとする。なお、既存の藻場・干潟についてはその効果は継続的に反映するものとする。

表 8 その他の条件

区分	その他負荷に係る前提条件
海岸線	・海岸線・埋立・海域内工作物の状況は変化無いものとする。
指定地域外の影響	・現況と同一とする。
大気境界	・予測項目である気象条件のみ既存の知見を利用するが、汚濁負荷については現況と同一とする。
外洋境界	・現況と同一とする。
漁獲の影響	・現況と同一とする。
干潟	・現況の干潟は同一規模を保持するものとする。
SSの削減効果	・陸域からのSSは削減効果が無いものとする。(ただし、値はL-Q式により計算されるため、気象条件により可変)

中長期シナリオで想定された施策が実施される場合、陸域から排出されるCOD、T-N、T-P排出負荷量の推移は下図のとおりとなった。COD及びT-Pの削減率が各水域とも大きく、これらに比べT-Nの削減率はやや低い結果となった。

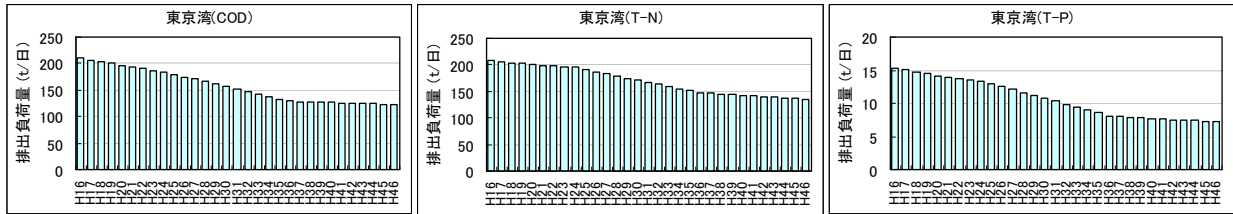


図 34 東京湾におけるCOD、T-N、T-Pの排出負荷量の推移

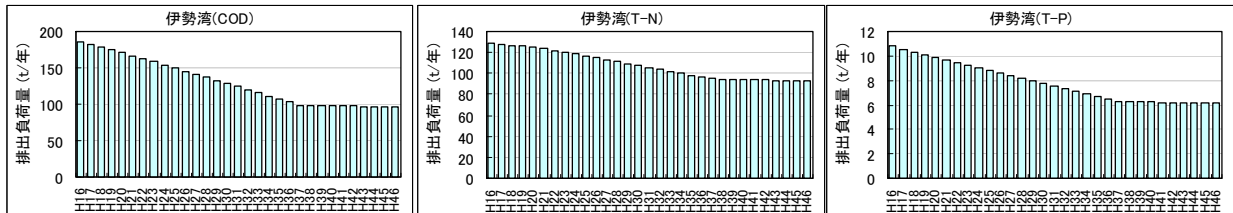


図 35 伊勢湾におけるCOD、T-N、T-Pの排出負荷量の推移

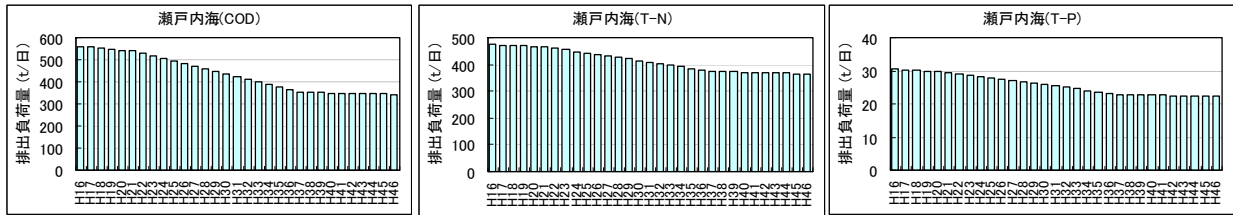


図 36 瀬戸内海におけるCOD、T-N、T-Pの排出負荷量の推移

## 6.2 水質予測モデルについて

中長期ビジョンにおいて、将来の水環境像を具体化するためには、対象海域の特性に応じた水環境改善効果を把握したうえで、シナリオの評価・予測を高精度でシミュレートできるモデルを構築することが必要である。シミュレーションモデルは、非定常の流況、生態系、底泥からの溶出、底層の貧酸素現象等の再現性を確認すること、また中長期的な水環境改善対策の効果の予測を可能にすることが必要とされている。

このような目的に従い、以下のようなモデル(図 37)を構築し、各水域の現況再現計算、東京湾においては水質総量削減開始以降の過去の長期再現計算、中長期シナリオに基づく将来の長期予測計算を実施した。

### ◇流動モデル

Blumberg and Goodrich (1990) により開発された三元流動モデルに新たに熱収支のモデルを組み込んだ非定常モデルである。本モデルは、感潮域や閉鎖性海域に通常見られる1~100km程度の空間スケールと潮汐に代表されるようなメソスケール現象を表現できるような基礎方程式をモデル化したものであり、河川水の流入、降雨等に伴う淡水の供給、外海とのやりとり、潮汐流、吹送流、熱・塩分に基づく密度流により駆動される流動を再現し、乱流拡散係数を乱流モデルにより逐次非定常で計算している。

### ◇生態系モデル

汚濁負荷物質・SSの流入や、COD内部生産、分解及び沈降過程、底質からの溶出過程、溶存酸素収支等を基本とする閉鎖性海域の物質循環過程をモデル化し、対象海域の水質濃度、動植物プランクトン量等の動態を非定常で再現するモデルである。また底質からの溶出は好気層と嫌気層の2層における有機物の沈降・混合・分解、栄養塩の拡散・溶出を考慮した溶出サブモデルで計算される。

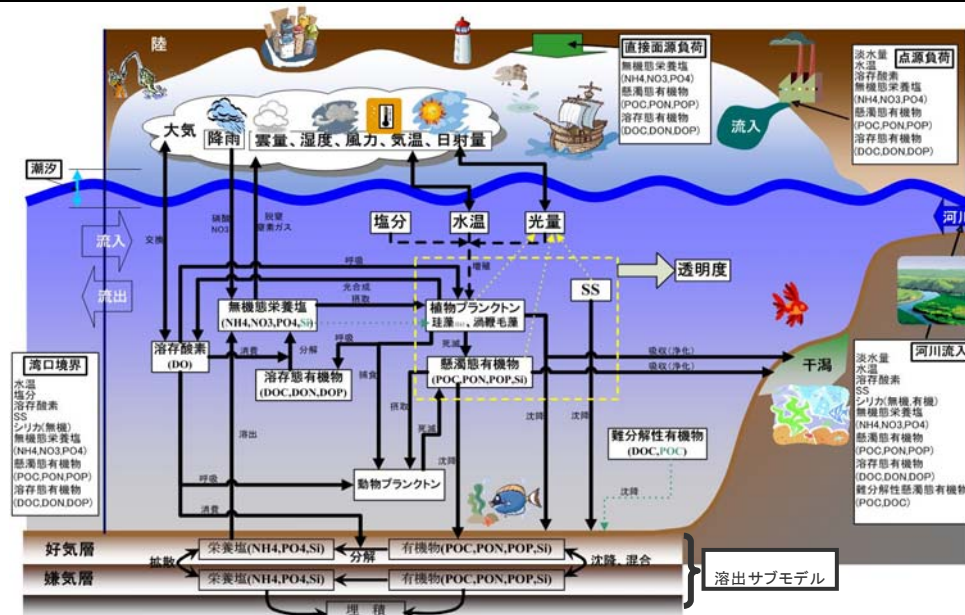


図 37 水質予測モデルの概念図

### 6.3 水質改善を抑制する要因

閉鎖性海域へ排出される汚濁負荷量は昭和54年度から平成16年度にかけCODで56%削減、窒素及びりんも同様にそれぞれ43%及び63%と大きく削減され、河川水質の向上に大きく寄与し、海域の濃度レベルの高かった東京湾・大阪湾の水質は確実に向上してきたが、未だ環境基準を達成するには十分と言えない状況にある。

東京湾における底質CODの観測結果を図38に示す。昭和52年9月から平成6年8月にかけて40mg/g以上のピークは無くなったが、30mg/g以上の範囲は広がっている。さらに平成14年8月の観測結果では、50mg/g以上の底質が極端に悪化した箇所が湾奥部の千葉県側を中心に出現し、同時に40mg/g以上の範囲も大幅に広がっている。



出典) 国土交通省 国土技術政策総合研究所資料、2002

図38 底質COD分布状況の推移 (観測値 単位: mg/g)

これに対し、昭和52年9月の観測値を初期値として昭和54年4月に与え、その後をシミュレーションした結果が図39である。平成14年度8月の断面で比較するとシミュレーションモデルが観測結果を非常に良く再現していることが分かる。

このように底質の有機物の蓄積が湾奥部の千葉県側で進んでいることが、観測結果(図38)およびシミュレーション結果(図39)の両面から確認できる。

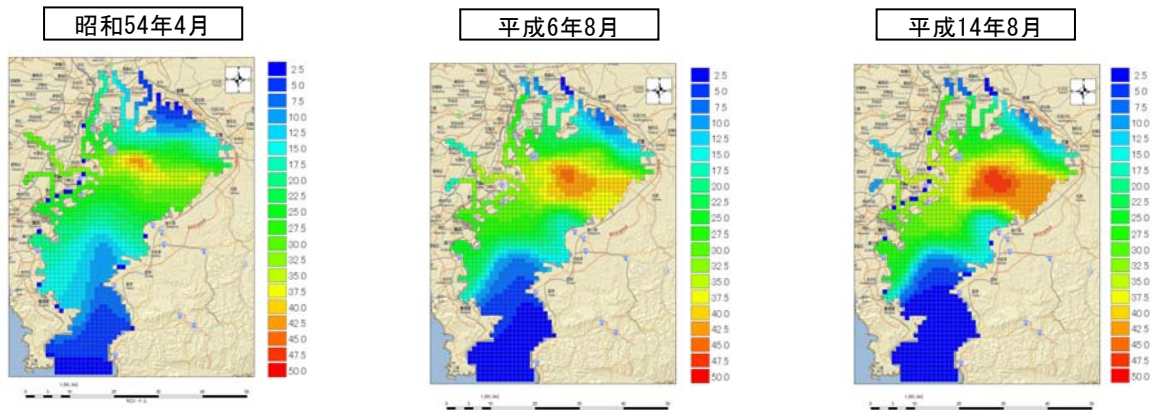


図39 底質COD分布状況の推移 (計算値 単位: mg/g)

T-N及びT-Pの底質への沈降水量及び底質からの溶出量の推移を図40に示す。昭和54年度から底質へのT-N沈降水量は横ばい、T-P沈降水量は減少傾向にあったが、平成4年度を境に増加に転じ、平成16年度の窒素・りん総量削減開始以降、再びT-N沈降水量、T-P沈降水量ともに減少に転じた。また、沈降水量と溶出量の関係を見ると、昭和54年度から一貫して沈降水量が多く、底質への蓄積過程が継続していることが分かった。

底質への有機物の蓄積と貧酸素化は底泥からの栄養塩溶出をもたらす。つまり、底質に有機物が蓄積し続けることにより、有機物の分解時に消費される酸素量は増え、貧酸素の状態が続き、結果的に底質からの窒素・りん溶出量も増えることとなる。この結果、過去から陸域の汚濁負荷量を削減し続けたにもかかわらず、底質から溶出した窒素・りんが水塊に供給され続け、これらが植物プランクトンに摂取されて内部生産に繋がり、内部生産により増殖した植物プランクトンの死滅により底質への沈降水量がさらに増加するという、負のスパイラルが継続していたと推察される。図39から、観測結果において底質の有機物が蓄積過程にあり、年々底質が悪化していることが明らかであったが、シミュレーションの結果から得られた沈降水量・溶出量のフラックスからも、底質への蓄積過程が継続しているという観測結果を裏付けるものとなった。

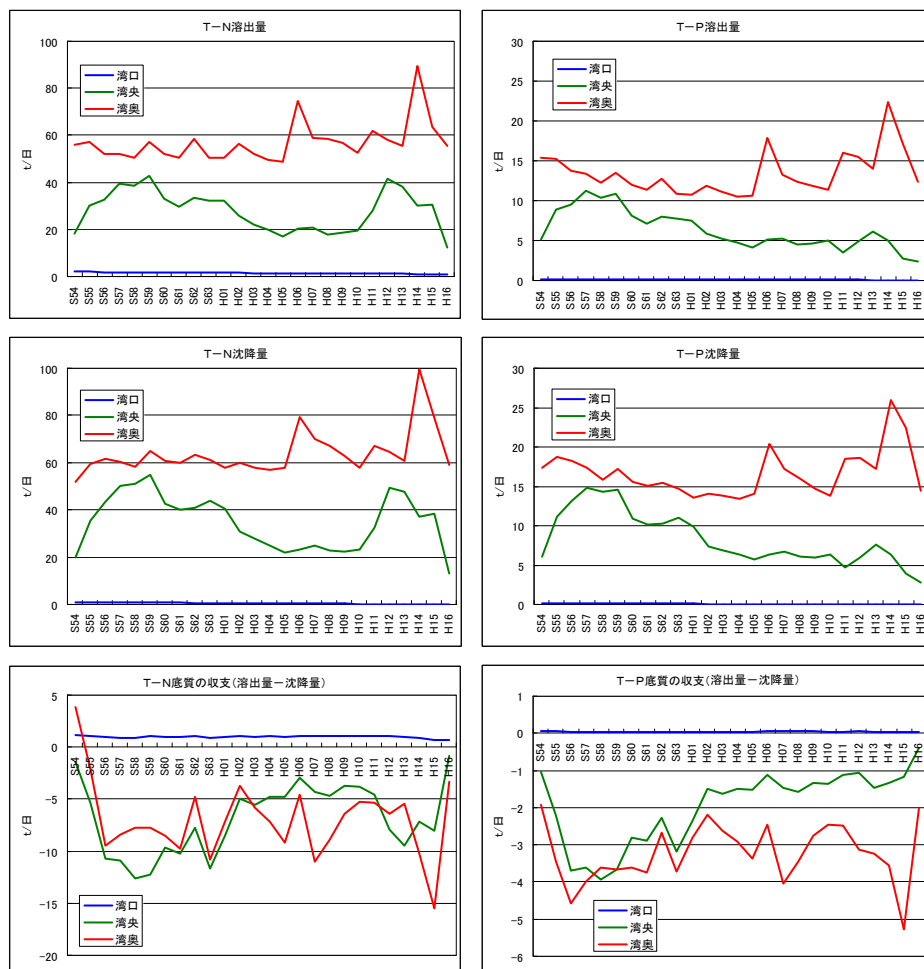


図40 東京湾における窒素、りん溶出量・沈降水量とその差の推移(計算値)



水質総量削減が開始された昭和54年度から平成16年度までに至る長期再現計算の結果からは、海域の水質が十分改善しない要因として、以下のような幾つかの要因が考えられた。

その一つの要因として、閉鎖性海域内の海水交換の影響が考えられる。潮汐や潮流の関係上、湾内への出入りはあるものの、基本的な水塊の流れのベクトルは、陸側から湾外である。具体的には、陸域から淡水が供給されるため、塩分成層に伴い表層を低塩分水塊が湾外へと排出される。一方、湾口の底層からは高塩分水塊が湾外から流入する海水交換が行われる。海水交換により外洋から濃度の低い水塊が供給され、これが浄化機能として働く。このように水塊内の浄化は本来自然が有する浄化能力のほか、海水交換による湾外への移送も大いに役立っている。閉鎖性海域はその地理的形狀から、元々海水交換量が十分ではない。それに加え埋立地・堤防・橋脚等の人工構造物（表9、図41）は、その立地条件等により海水交換量を減少させるとともに、内部生産に伴う有機物の底質への沈降量増加をもたらす要因となり得る。

表9 昭和54年度以降の東京湾における主な海岸線地形変化（埋立地等）

NO	名称	埋立等期間
①	中央防波堤外側埋立地	昭和55年度～昭和59年度
②	羽田沖埋立地	昭和55年度～平成元年度
③	浮島町周辺	昭和55年度～昭和59年度
④	大黒ふ頭周辺	昭和55年度～昭和63年度
⑤	本牧ふ頭周辺	昭和55年度～昭和59年度
⑥	南本牧ふ頭 第一期	平成3年度～平成8年度
	南本牧ふ頭 第二期	平成9年度～平成12年度
⑦	八景島シーパラダイス	昭和55年度～昭和58年度
⑧	横須賀新港ふ頭 うみかぜ公園周辺	昭和60年度～昭和63年度
⑨	富津火力発電所周辺	昭和55年度～昭和59年度
⑩	東京湾アクアライン	平成2年度～平成9年度
⑪	海ほたる	平成2年度～平成9年度



図41 昭和54年度以降の東京湾における主な海岸線地形変化（埋立地等）

海水交換の影響に関連し、平成3年の多雨年を境に降水量が減少し、平成6年は渇水年となり平成9年までは降水量が少ない時期であった（図 42）。そのため陸域の流入量が減少していたことも底質の悪化に関係していると考えられる（図 43）。前述の海水交換のメカニズムから、流入河川水量が少ない場合は、この海水交換量が少なく、かつ底質からの溶出も増加する方向に働く。一方、流入河川水量が多い場合は、海水交換量が高められるとともに、底質からの溶出も抑制される方向に働く。また流量の増減と水質の増減を関連付ける結果として、過去のシミュレーション結果から、流入河川水量の多い年には水質が改善し、少ない年には悪化していることが分かる（図 44）。

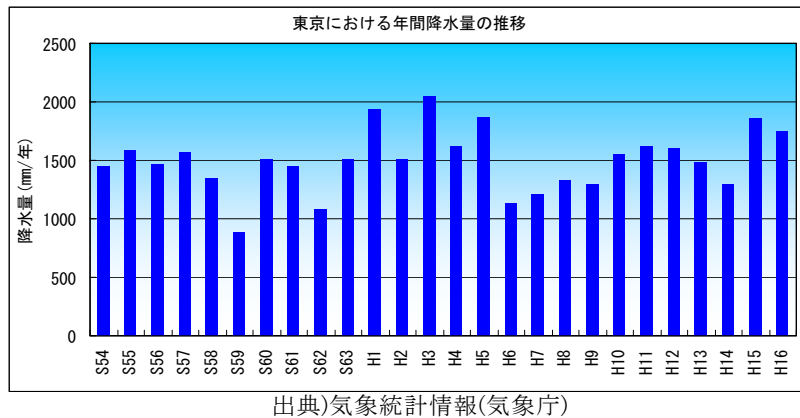


図 42 東京における年間降水量の推移

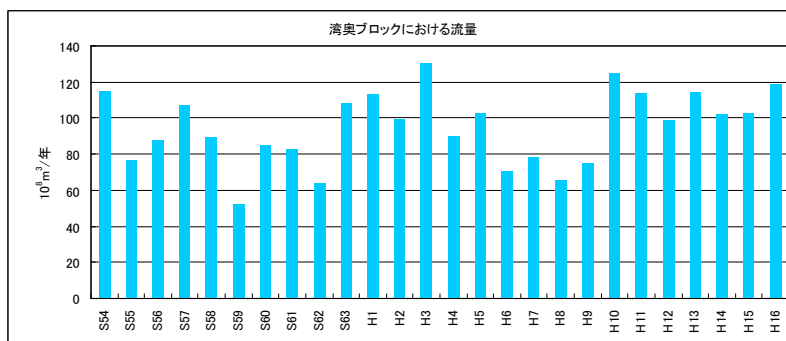
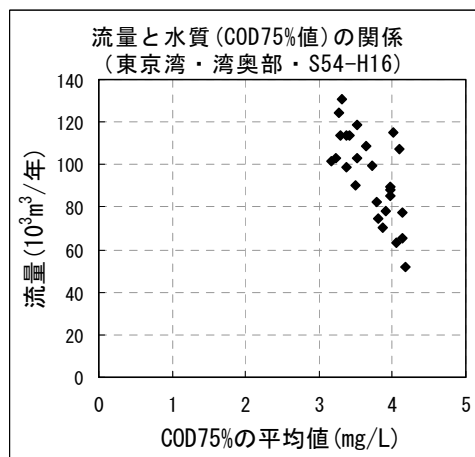


図 43 東京湾奥部における流量の推移

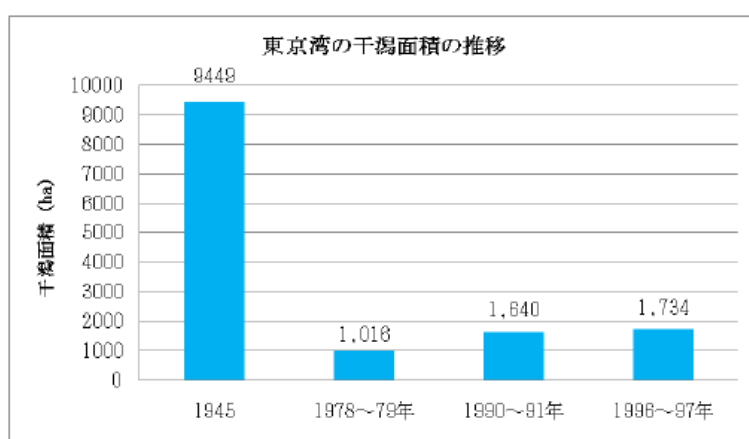


注)水質は東京湾・湾奥部の全メッシュを対象に COD75%値を平均した値

図 44 東京湾の湾奥部における流量とCOD水質(計算値)との関係



さらに水質の悪化や浅場の埋立などの複合的な要因により、干潟などの自然浄化能力を有する場が喪失したこともその一因と考えられる。東京湾では、昭和20年に9,449haあった干潟面積が、一時は1,000ha程度まで縮小している(図45)。水質総量削減を開始した昭和54年度(1979年度)以降は、干潟などの重要性が再認識され回復基調にあるが、それでも以前とは比較にならない程度の規模である。人工構造物を含む海域の形状の影響は今後も続くと考えられ、温暖化の進行に伴う気象条件の変化などもあり、今後、干潟などを回復することで自然浄化能力を向上させることはますます重要性を増すと考えられる。



注) 本図は、図26の一部を再掲載したものである。

図45 東京湾における干潟面積の推移

こうした複合的な要因により、汚濁負荷量の削減が進んだほどには、海域の水質の改善が進まない状況があったと考えられる。しかしながら、人口の増加・経済の発展により潜在的な発生負荷量が増加し、さらに底質からの窒素・りん溶出が増加しているにも係わらず、海域の水質悪化を免れたのは、水質総量削減制度により汚濁負荷削減を進めてきたためと言える。

#### 6.4 状態指標の制御

閉鎖性海域の生態系が将来にわたって維持されるためには、閉鎖性海域に生息する生物の生息環境が良好に保たれ、生物の再生産が行われるべき場にあっては、その再生産に必要な環境条件を確保する必要がある。また、海藻草類の生育の確保や親水利用にも配慮していく必要がある。これらを実現するため、今回新たに底層DOと透明度という水質目標を検討した。

これまで有機物(COD)、T-N、T-Pという物質を削減し、その流入量を減らすことで閉鎖性水域の水質を改善させるという手法をとっていた。これらの項目は人為的にある程度制御可能な項目であるため、制御項目としては意味があるが、その数値と生物の生息環境の良好さとは間接的な関係であり、むしろ貧酸素水塊の発生、赤潮の発生、透明度低下による藻類の生育抑制という問題の方が直接的な影響を与えるものであった。

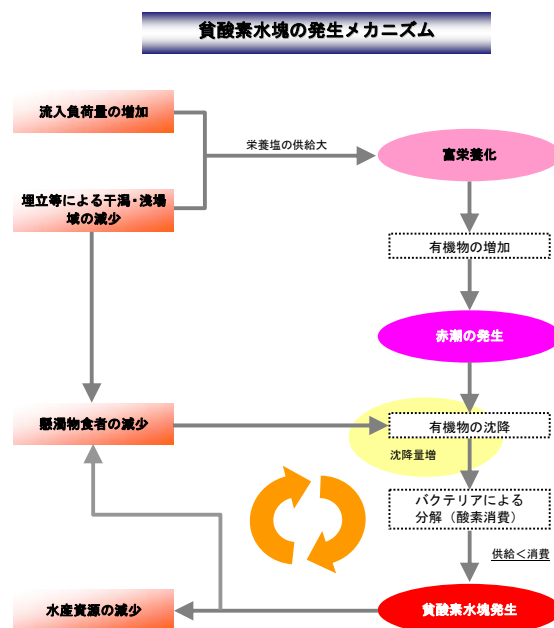
今回、新たに水質目標が提案された底層DOと透明度は、水質汚濁の結果を示す数値であり、生物の生育・再生産等に直結する数値である。これらの目標項目について、その値が低下する原因については、現時点では以下のとおりと考えることができる。

### (1) 底層DO

底層DOの低下は、水質汚濁の進行により底質への有機物の蓄積が進むとともに、これらが分解する際に酸素消費が行われ、結果として酸素の供給と消費のバランスが消費側に多く傾くことで生じる（図 46）。供給要因としては、「酸素に富んだ海水の移動」、「河川からの供給」、「植物プランクトン等による光合成」などが主たるものである。一方、消費要因としては、「動植物プランクトンによる呼吸」、「有機物等の分解」、「硝化」などが主たるものである。本モデルでは、これらの仕組みを全て組み込み、多数の検証データを用いて、再現性について確認している。

これらのことを踏まえ、供給要因・消費要因に関し、人為的に寄与可能な部分を対策として実施することが必要である。現実的に寄与可能な部分としては、「有機物等の分解」を少なくすることが考えられる。そのためには、底質に供給される有機物等を減らすことが必要であり、それは陸域からの有機汚濁負荷の削減と植物プランクトンの増殖抑制を意味する。植物プランクトンの増殖は、富栄養化の結果として生じるものであることから、T-N、T-Pを制御することは底層DOを制御することに繋がる。また有機物の指標であるCODについても、直接的に海域に流入する有機物量を減らすという意味では重要である。

結果的にCOD、T-N、T-Pの制御項目をコントロールすることで、底層DOの数値も改善することができる。各水域のシミュレーション結果からも、制御項目の削減と底層DOの改善が連動していることを確認している。



注) 「三河湾における貧酸素水塊形成過程に関する研究 中田喜三郎」より作成

図 46 貧酸素水塊発生メカニズム

## (2) 透明度

透明度の低下は、海水中に光を減衰させる物質が存在することで生じる。その原因物質は、大きく分けて土壌等に起因する無機物と植物プランクトンなどの増殖などに起因する有機物に分けられる。一方、透明度が向上する要因としては、懸濁物質の沈降、藻類等生物による過効果などがある。これまでの成果から、土壌等に起因する無機物の代表として「SS」を、植物プランクトンなど有機物の代表として「クロロフィルa」を選び、東京湾の観測データを用い、両者の関係から透明度を推計したところ、透明度と両者の間には密接な関係があることが確認された。この結果を活用し、SSとクロロフィルaからの関係式から透明度を推計した。

$$\text{透明度} = \text{海域ごとの定数} / (0.139 \times \text{全 SS 濃度}[\text{mg/L}] + 0.019 \times \text{クロロフィルa濃度}[\mu\text{g/L}] + 0.04)$$

※海域ごとの定数は、東京湾・伊勢湾・瀬戸内海とも 1.6 と設定した

土壌等の無機物は、主に出水時に陸側から供給される。例えば海域のCOD環境基準の評価が75%値を採用しているが、これは測定されたデータのうち通常の状態以外で測定されたデータを除いて、環境基準が達成されているか否か評価するためである。従って、透明度に関しても出水時のような通常の状態にない場合は、人為的にその制御は大変困難であることも踏まえ、将来の対策による陸域からのSS流入負荷量の制御は考えないものとする。なお、SSの流入負荷量に関しては、東京湾の観測結果から得られた流量と流入負荷量の関係式から4粒径区分別に得られた結果を伊勢湾・瀬戸内海にも適用した。

一方、植物プランクトンの増殖は、底層DOでも述べたとおりT-N、T-Pを制御することで間接的に制御が可能である。

結果的にCOD、T-N、T-Pの制御項目をコントロールすることで、間接的ではあるが透明度の数値も改善することができる。

## 6.5 各水域の将来予測結果

東京湾、伊勢湾及び瀬戸内海の将来水質予測結果について、COD、T-N及びT-Pの水質は環境基準を評価する方法（CODは75%値、T-N及びT-Pは年平均値）で、新たに指標として加わった底層DOは年最低値で、透明度は年平均値でそれぞれ求め、各水質項目の推移及びメッシュ別分布図を作成した。また、底質については、COD、T-N及びT-Pについて平均含有率を求め、その推移図を作成した。

### (1) 東京湾

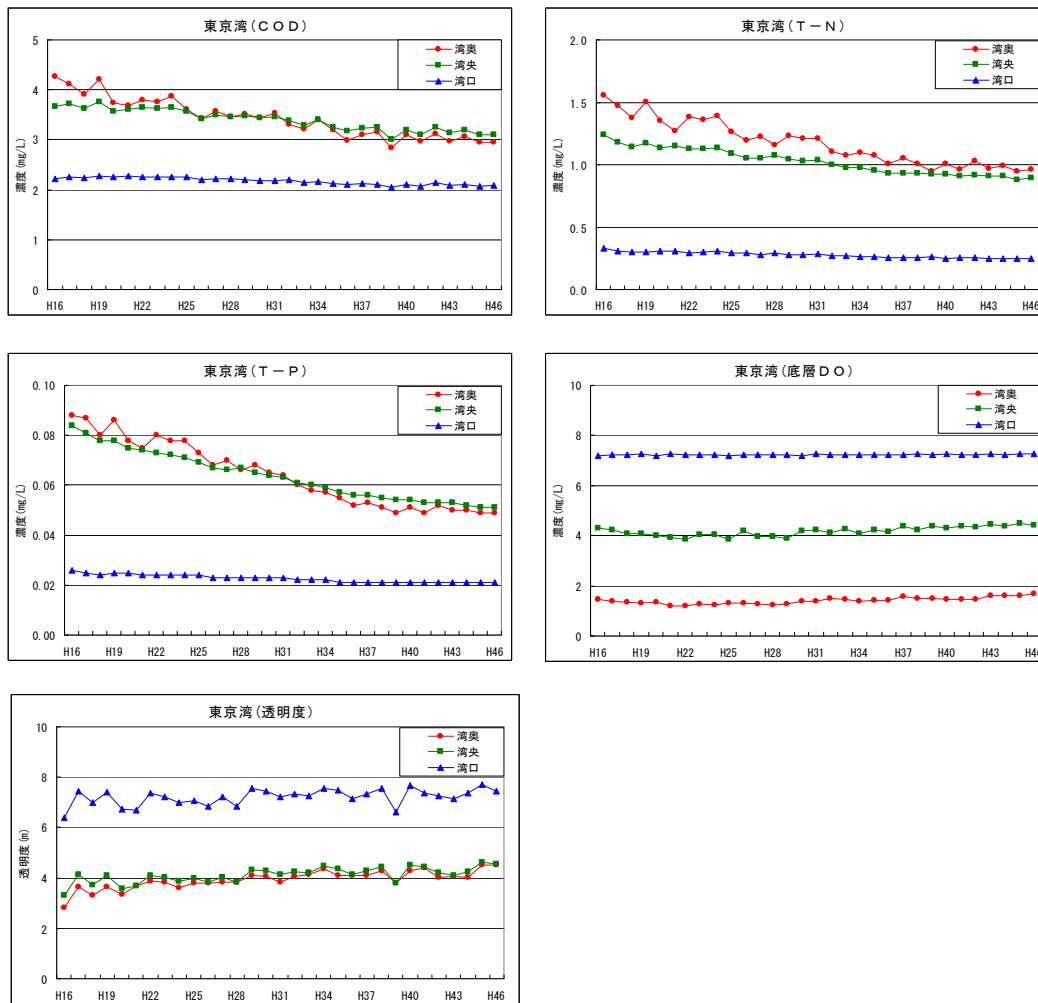
東京湾の将来予測結果は図47及び図48のとおりである。排出負荷量の削減に従い、東京湾のCOD、T-N及びT-Pは改善が進むと推計される。

底層DOは、各水質項目が改善されてくることから、底質への有機物供給量が減少するため、湾奥・湾央部を中心として改善の傾向を予測している。底層DOの改善がCOD、T-N、T-Pの各水質項目ほどではない理由は、底質には過去からの蓄積されてきた有機物が残っており、この有機物が分解される時に酸素が消費されるためと考えられる。汚濁負荷削減を長期的に継続することにより、沈降物が減少し底質に蓄積された有機物量が減少するため、底質環境も最終的には改善され、十分底層DOが改善することが見込まれる。

透明度は、湾奥部・湾央部・湾口部と全体的に経年的な改善傾向が認められる。特に湾奥部・湾央部では平均的に1m改善する予測となっている。

底質のCOD、T-N、T-P含有率の推移は図49のとおりである。この結果によると水質総量削減開始以降、平成21年度頃までは湾奥部・湾央部とも蓄積が進む過程にあることが分かる。ただし平成21年度以降は蓄積傾向が停滞し、横這いの傾向を示している。これは各水質項目の汚濁負荷削減の効果が、底質にも徐々に良い影響を及ぼし始め、底質の環境改善傾向に転換しつつあるためと考えられる。

また、東京湾においてはフラックスについても経年的な整理を行った。特に水質が悪化している湾奥部のフラックスの変化は、図50から図55に示したとおりである。平成16年度に比べ、陸域からの汚濁負荷が削減されているだけでなく、フラックスの各要素の絶対値が小さくなっている。また内部生産量も約4割減少しており、対策の効果が水質改善に繋がっていることが分かる。

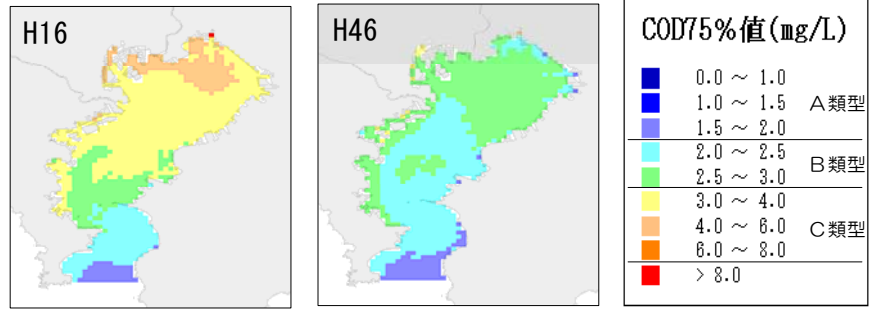


注 1) 図中の値は、メッシュ別に得られた代表値 (CODは75%値、T-N、T-P及び透明度は年平均値、底層DOは年最低値)を海域ブロック毎に算術平均したものである。

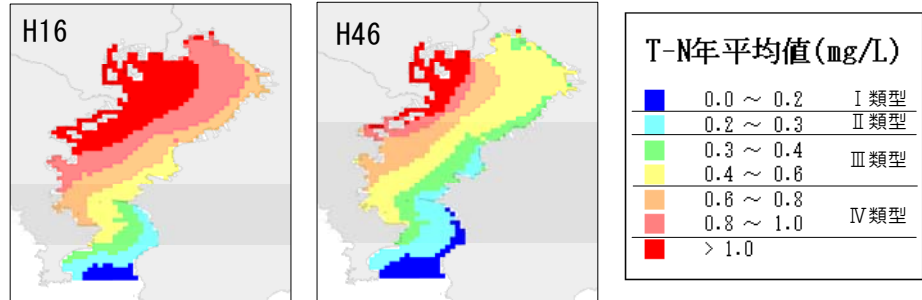
注 2) 海域ブロックのうち、湾奥とは多摩川・木更津を結んだ区域、湾央は湾奥境界と富津・横須賀港を結んだ区域、湾口は湾央境界から南の区域をそれぞれ意味する。

図 47 東京湾における各水質項目の推移 (計算値)

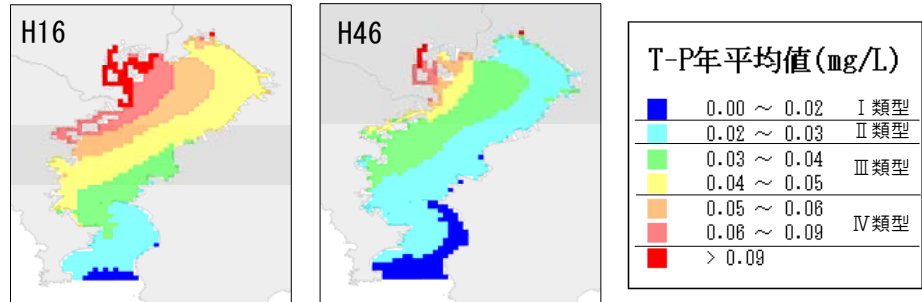
【COD75%値】



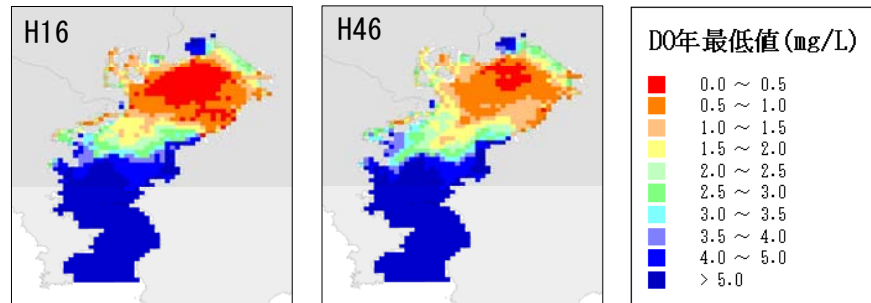
【T-N年平均値】



【T-P年平均値】



【底層DO年最低値】



【透明度年平均値】

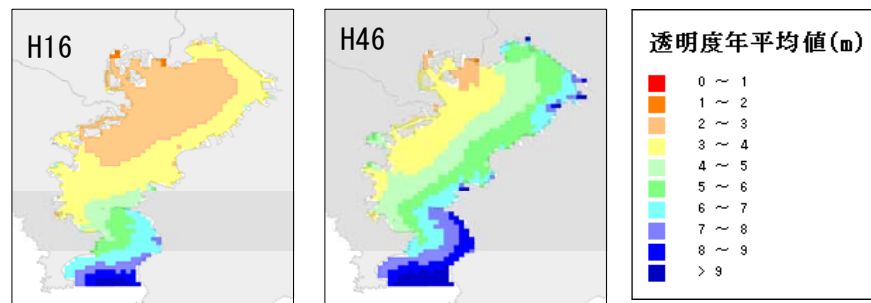
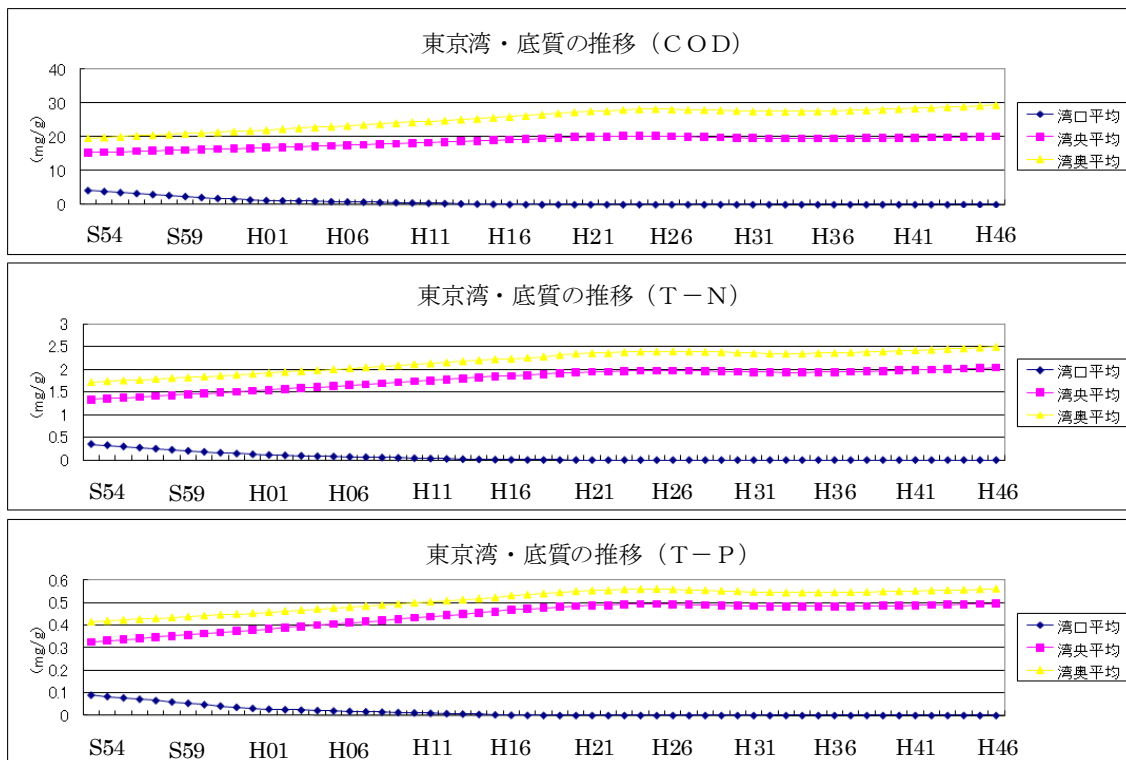


図 48 東京湾における各水質項目の分布図(計算値)



注 1) 図中の値は、メッシュ別に得られた年度別の平均含有率を海域ブロック毎に算術平均したものである。

注 2) 海域ブロックのうち、湾奥とは多摩川・木更津を結んだ区域、湾央は湾奥境界と富津・横須賀港を結んだ区域、湾口は湾央境界から南の区域をそれぞれ意味する。

図 49 底質(計算値)の推移(東京湾)



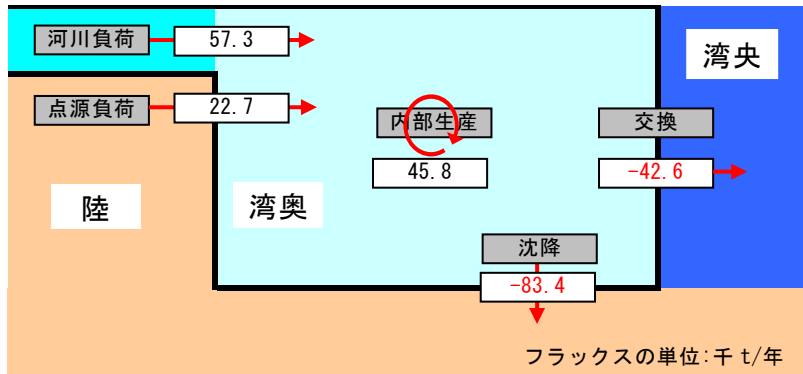


図 50 平成 16 年度における湾奥のCODフラックス(計算値)

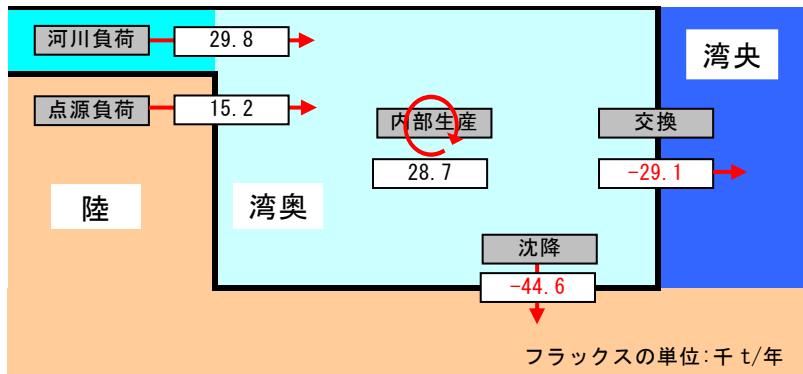


図 51 平成 46 年度における湾奥のCODフラックス(計算値)

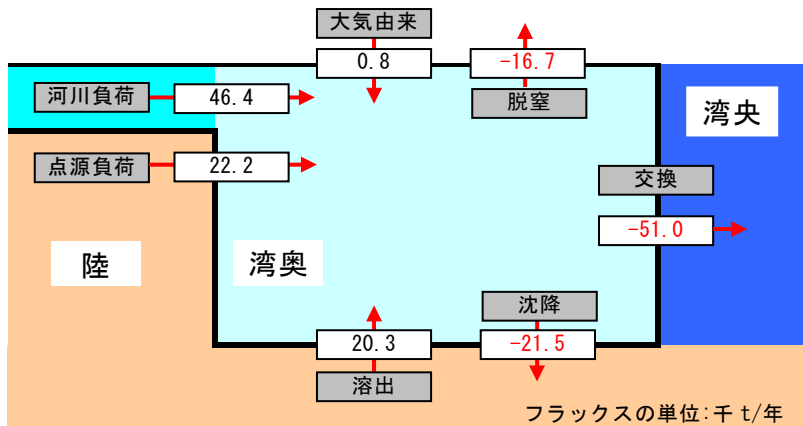


図 52 平成 16 年度における湾奥のT-Nフラックス(計算値)

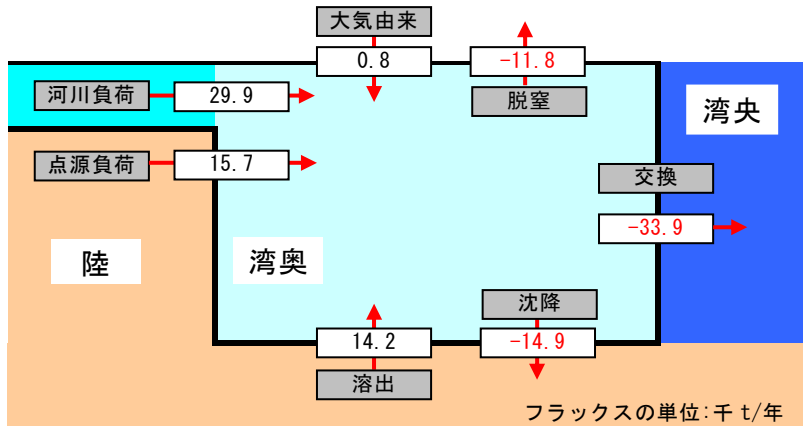


図 53 平成 46 年度における湾奥のT-Nフラックス(計算値)

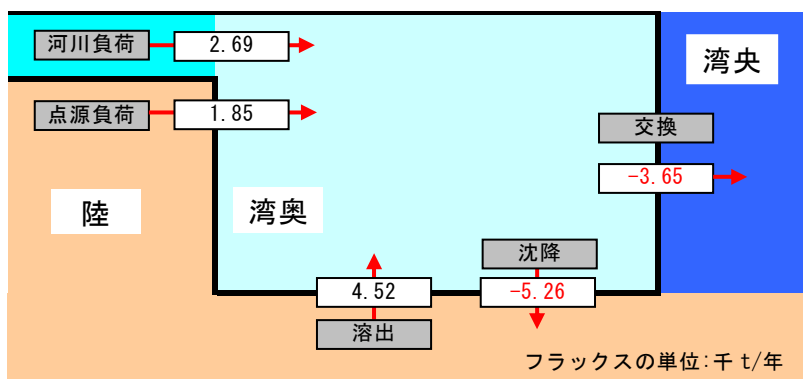


図 54 平成 16 年度における湾奥の T-P フラックス (計算値)

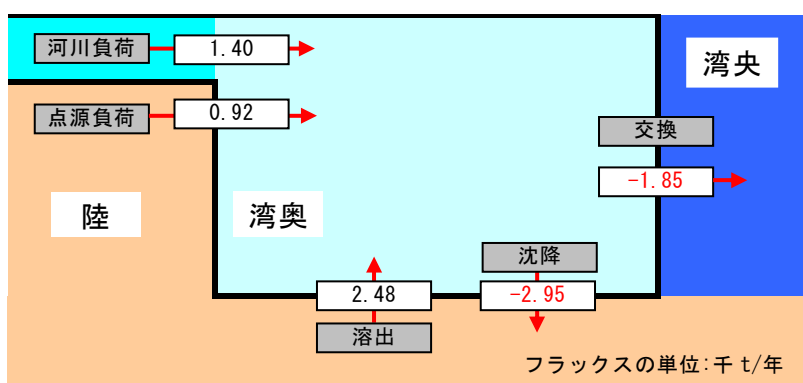


図 55 平成 46 年度における湾奥の T-P フラックス (計算値)

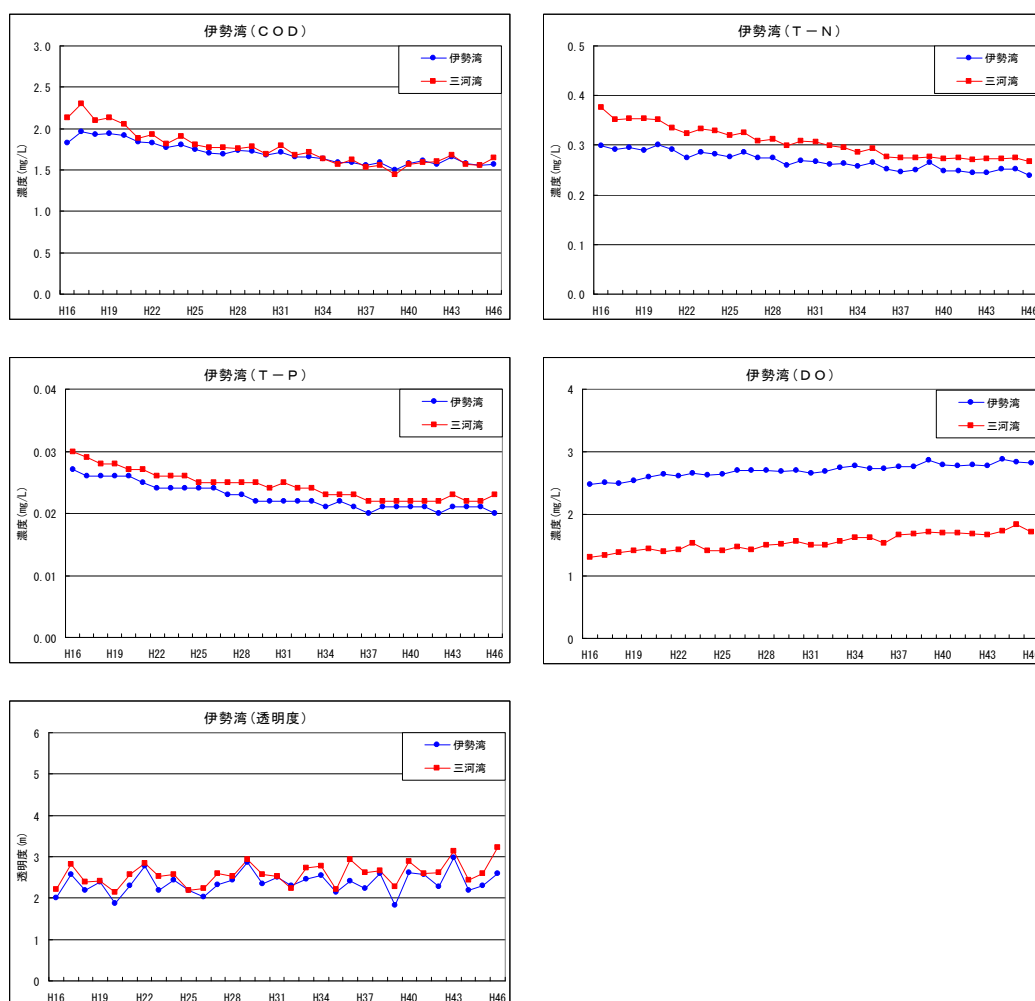
## (2) 伊勢湾

伊勢湾の将来予測結果は図 56 及び図 57 のとおりである。排出負荷量の削減に従い、伊勢湾のCOD、T-N及びT-Pは改善が進むと推計される。

底層DOは、各水質項目が改善されてくることから、底質への有機物供給量が減少するため、伊勢湾・三河湾とも改善の傾向を予測している。

透明度は、改善傾向を見せてはいるものの、東京湾ほどは顕著ではない。この理由として、将来の降水量が増加することが一つ考えられる。また透明度の推計に用いられるSSは、東京湾で検証されたL-Q式を適用しているため、SSの流入量が適切に推計されていない可能性もある。また伊勢湾には流量の大きな大規模河川が存在するため、年間を通じてSSの流入量が多いと考えられ、その結果、改善傾向もはっきり表れないものと考えられる。

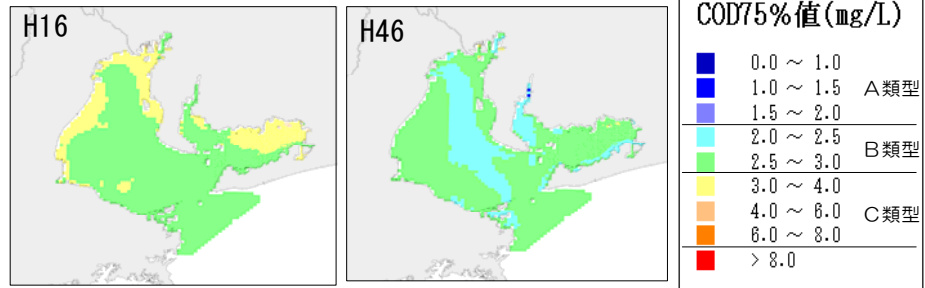
底質のCOD、T-N、T-P含有率の推移は図 58 に示したとおりである。この結果によると、伊勢湾では各水質項目の汚濁負荷削減の効果により、底質の改善が進んでいることが分かる。



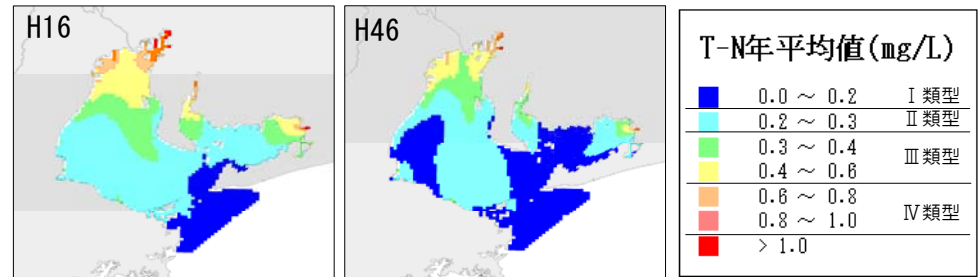
注) 図中の値は、メッシュ別に得られた代表値 (CODは75%値、T-N、T-P及び透明度は年平均値、底層DOは年最低値) を湾毎に算術平均したものである。

図 56 伊勢湾における各水質項目の推移(計算値)

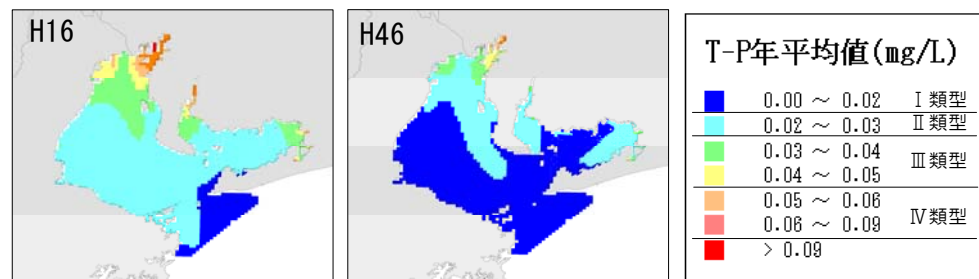
【COD75%値】



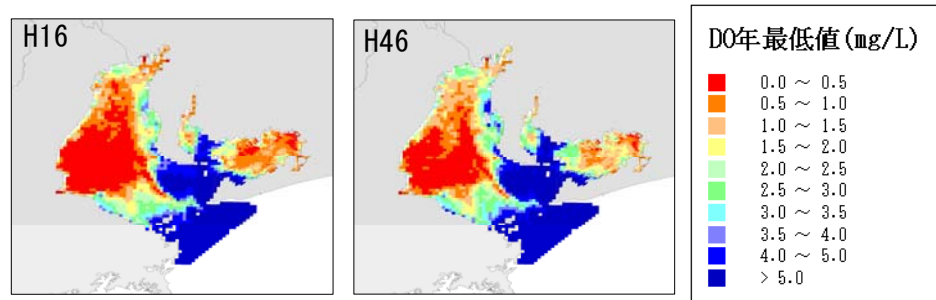
【T-N年平均値】



【T-P年平均値】



【底層DO年最低値】



【透明度年平均値】

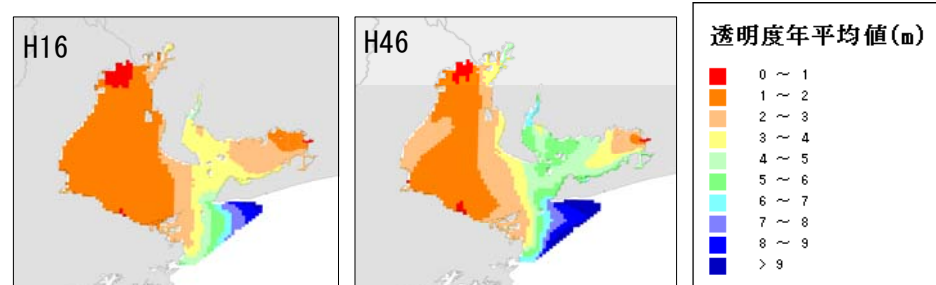
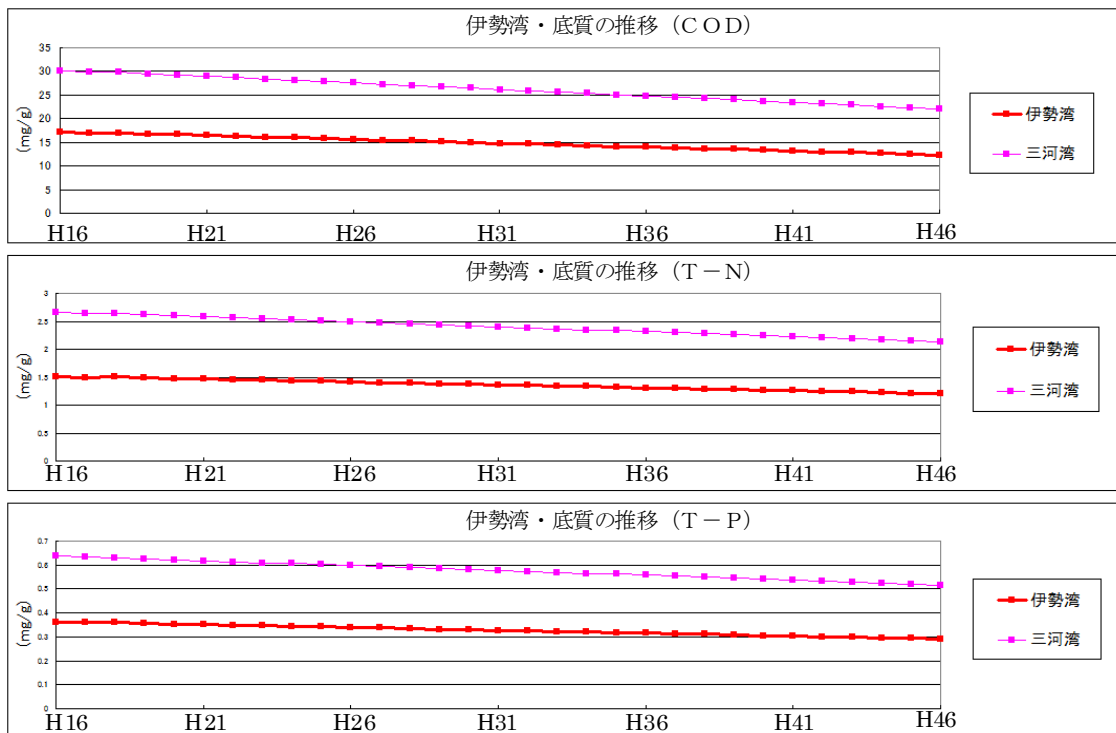


図 57 伊勢湾における各水質項目の分布図(計算値)



注) 図中の値は、メッシュ別に得られた年度別の平均含有率を湾毎に算術平均したものである。

図 58 底質(計算値)の推移(伊勢湾)

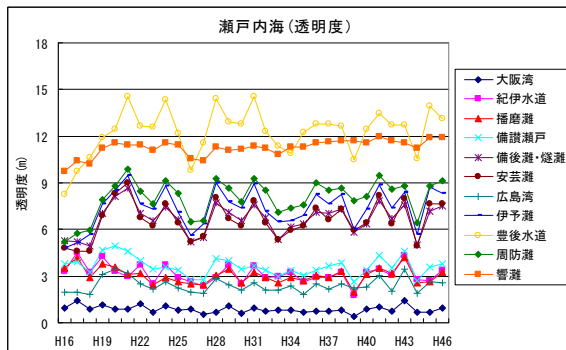
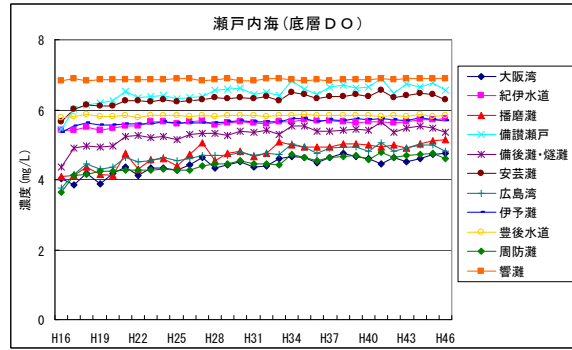
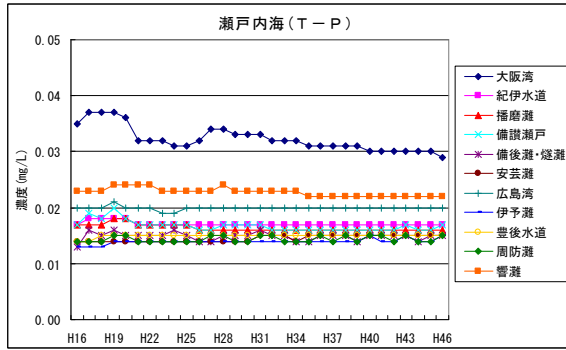
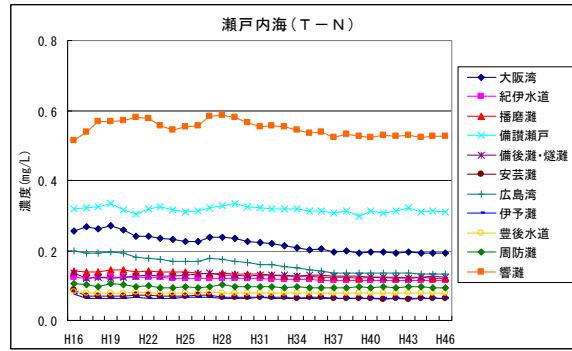
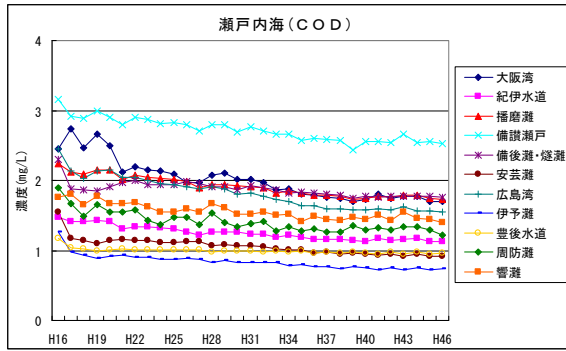
### (3) 瀬戸内海

瀬戸内海の将来予測結果は図 59 及び図 60 のとおりである。排出負荷量の削減に従い、瀬戸内海のCOD、T-N及びT-Pは改善が進むと推計される。なお、CODに比べT-N及びT-P水質は湾・灘によっては横ばいの所もあるが、瀬戸内海においては現況においてもT-N及びT-Pの環境基準の達成率は高く、濃度としては十分低い数値となっている。

底層DOは、大阪湾・周防灘・広島湾など、現段階において貧酸素が発生している湾及び灘を中心に大きく改善傾向を予測している。その他多くの海域では改善の度合いは少ないが、現段階においても十分な値となっている。

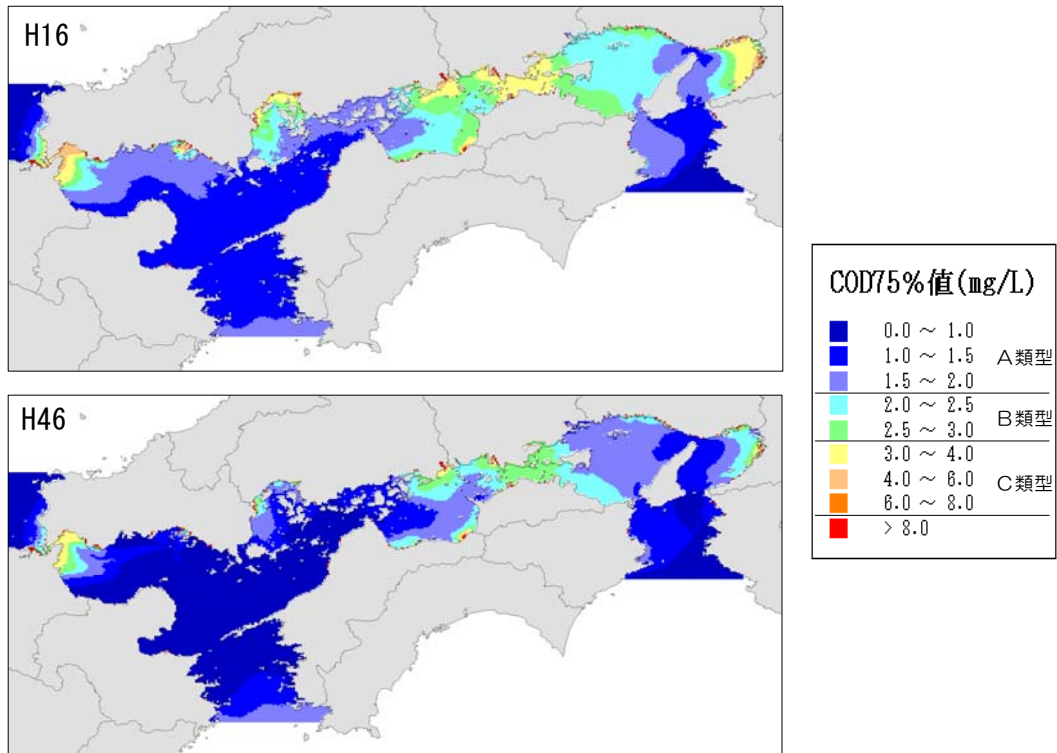
透明度は、西部を中心に改善傾向が見られるが、大阪湾・播磨灘・広島湾など水質濃度が比較的高い湾・灘においては、その改善傾向は顕著ではない。この理由として、伊勢湾と同様、瀬戸内海においても、将来の降水量の増加や東京湾で検証されたSSのL-Q式を用いられているためと考えられる。

底質のCOD、T-N、T-P含有率の推移は図 61 に示したとおりである。この結果によると瀬戸内海では、各水質項目の汚濁負荷削減の効果が、底質に良い影響を与えており、底質の改善が進んでいることが分かる。特に汚濁が進んでいる大阪湾において大きく改善されている。

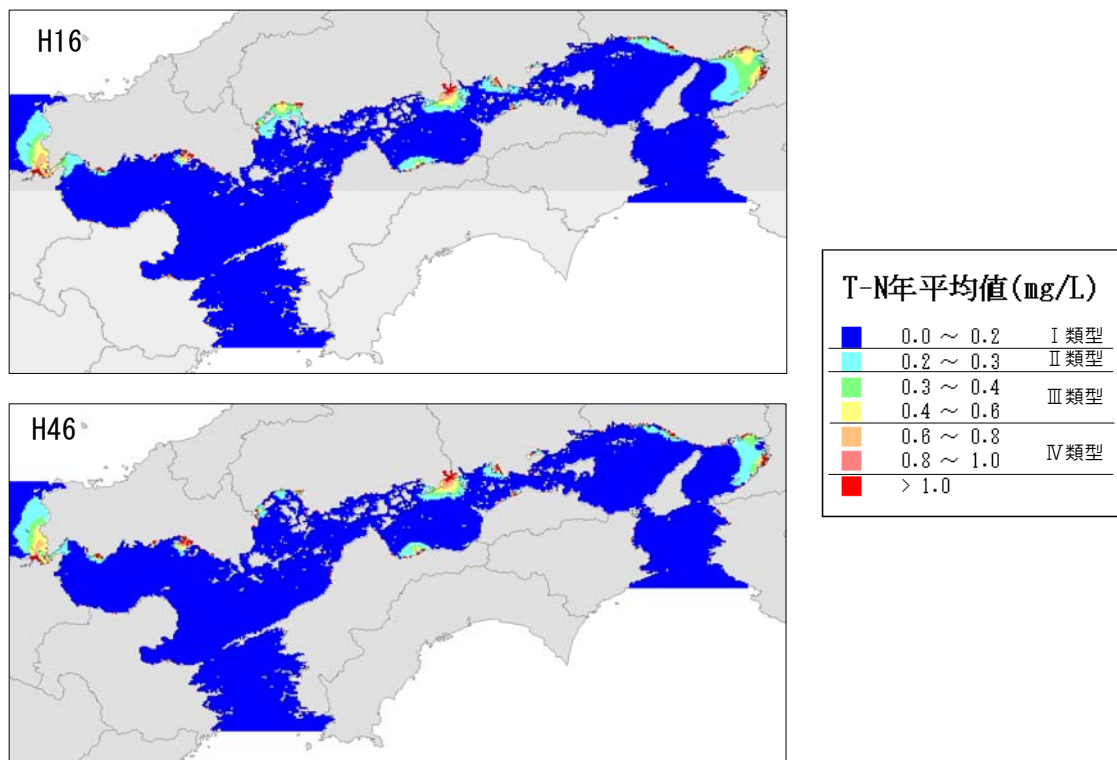


注) 図中の値は、メッシュ別に得られた代表値 (CODは75%値、T-N、T-P及び透明度は年平均値、底層DOは年最低値) を湾又は瀬毎に算術平均したものである。

図 59 瀬戸内海における各水質項目の推移(計算値)



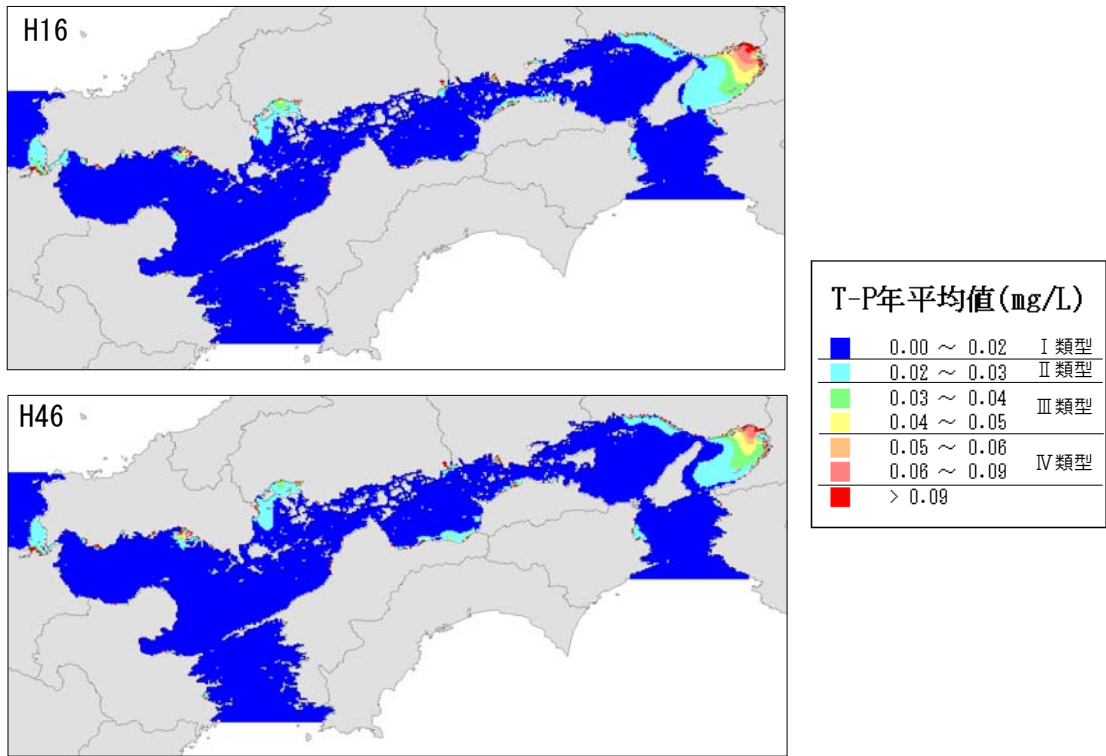
【COD75%値】



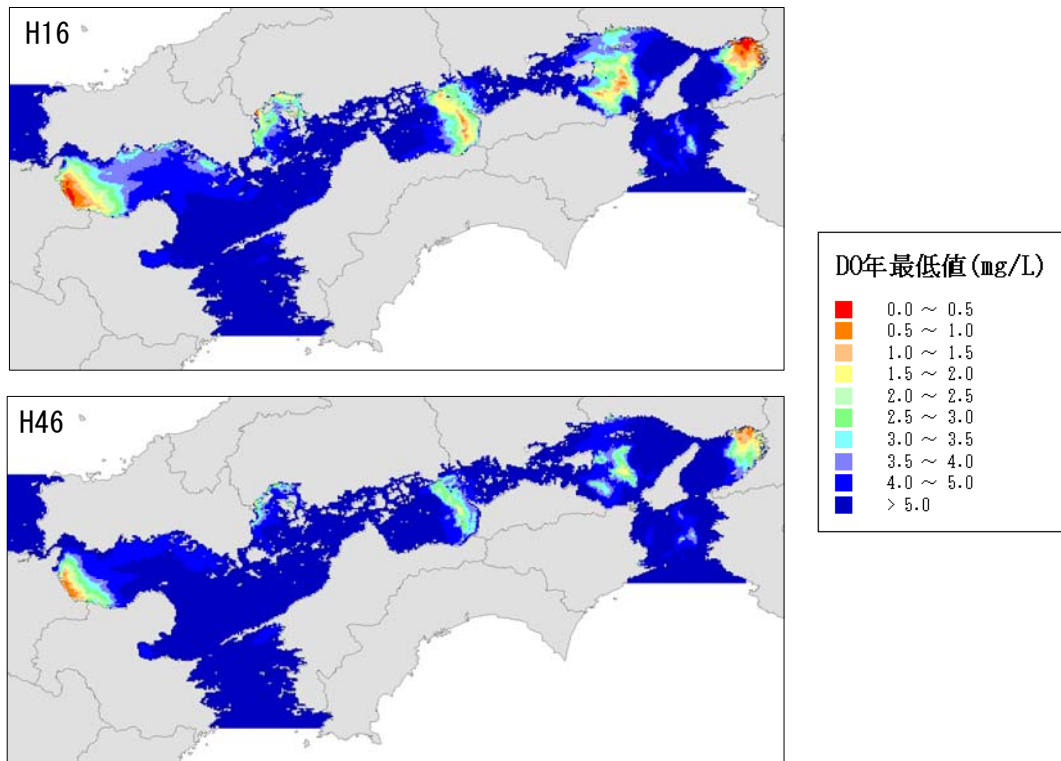
【T-N年平均値】

図 60(1) 瀬戸内海における各水質項目の分布図(計算値) (1/3)



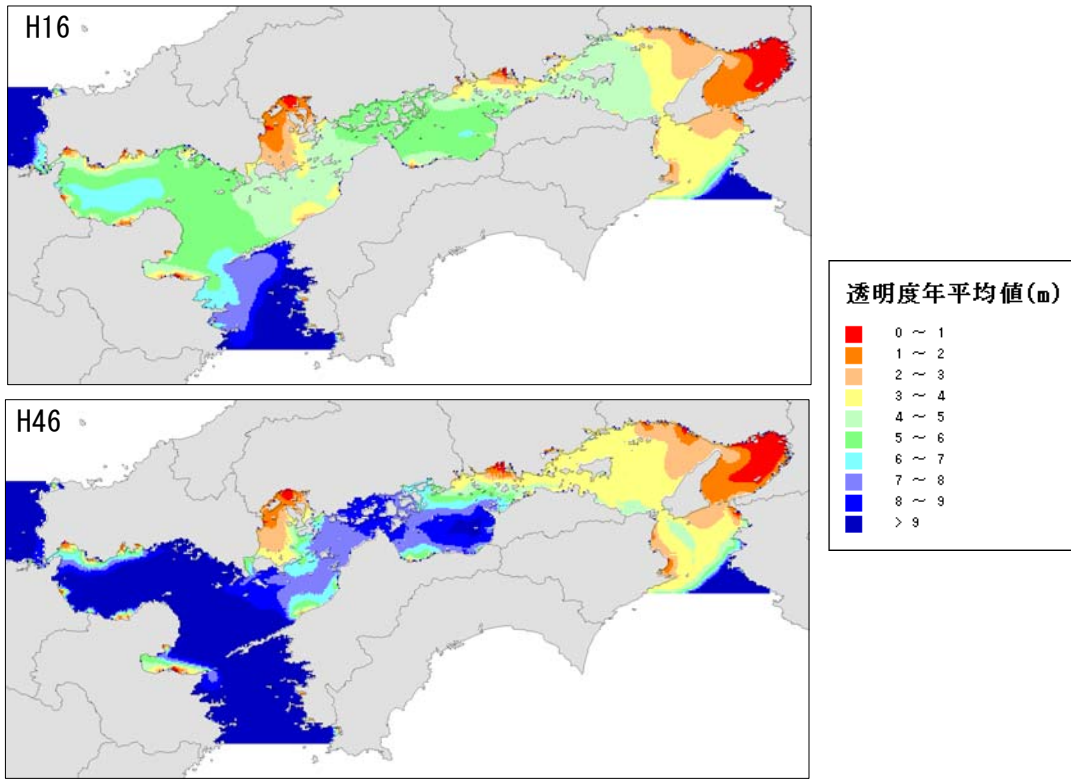


【T-P年平均値】



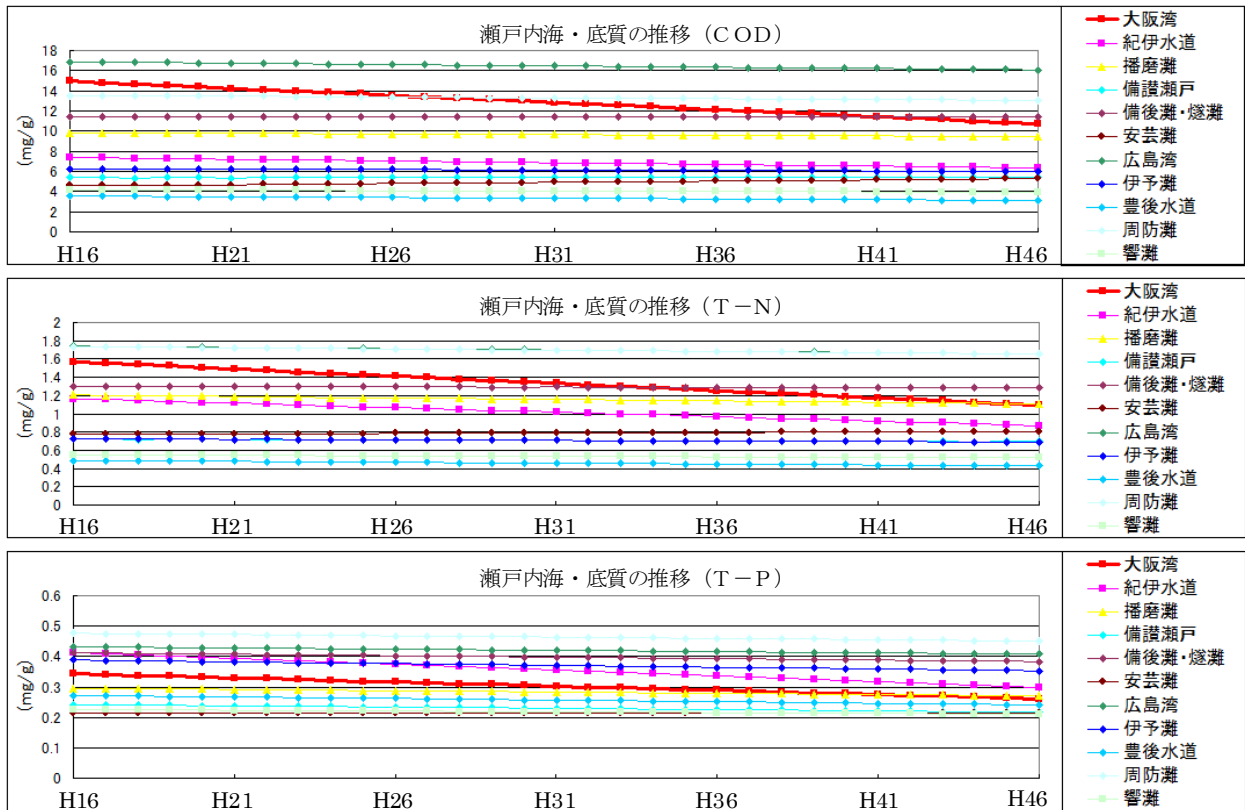
【底層DO年最低値】

図 60(2) 瀬戸内海における各水質項目の分布図(計算値) (2/3)



【透明度年平均値】

図 60(3) 瀬戸内海における各水質項目の分布図(計算値) (3/3)



注) 図中の値は、メッシュ別にて得られた年度別の平均含有率を湾又は灘毎に算術平均したものである。

図 61 底質(計算値)の推移(瀬戸内海)

## 6.6 将来展望のまとめ

中長期シナリオで設定されたような対策を総合的に実施することで、汚濁負荷量は人口の減少と相まって今後さらに削減可能であることが推計された。一方では将来の気象条件に関し、年間降水量が増加する予測が出ており、近年見られるような集中豪雨や多雨により、気象条件の変化が流入負荷量の増える要因となり得ることが想定される。このことにより、汚濁負荷量と流入負荷量の変化が直接的に比例関係にならないと考えられる。

しかしながら、汚濁負荷量の削減による効果はシミュレーション上では明確に表れており、現在の指定項目であるCOD、T-N、T-Pの水質は各水域とも更なる改善が見込まれるとともに、底層DOなどは一時の危機的状況から比べればかなりの改善が見込まれている。透明度に関しては、T-N、T-Pの削減、底質の改善により内部生産が抑えられ、有機物に起因する透明度の低下は改善されるものと考えられる。一方、気象条件から年間降水量が増える予測となっていることから、陸域からのSSの負荷は増加するものと考えられる。このことから、透明度に関しては、気象条件による改善抑制要因が考えられるものの、各水域とも概ね改善が進むものと考えられる。また底質に関しても、東京湾の悪化傾向が平衡状態に推移し、伊勢湾・瀬戸内海は改善傾向を示していることから、底質が改善されることも期待される。

このように水質・底質が改善され、貧酸素水塊の発生頻度が低くなれば、生物の生息環境が改善されるとともに、生物の再生産が行われるべき場にあっては、再生産に必要な環境条件を確保できると考えられる。透明度が向上すれば、海藻草類の生育が確保されるとともに、親水利用に寄与することとなる。これにより自然の浄化能力はさらに向上し、水に対する意識も高まり、健全な水環境を保持するための道筋が見えてくる。

## 7. 今後の検討内容

これまでの検討により、新たな水環境の目標として底層DO及び透明度の目標を提案し、その適用及び評価方法に当たっての考え方について整理した。また、水質予測モデルを用いた将来予測を行い、新たな目標の達成に向けた改善施策を中長期シナリオとして整理するとともに、改善の見込みを把握するためのロードマップを作成した。

しかしながら、底層DO及び透明度の目標設定においては、既往の研究結果が少ないこともあり、目標値を設定できた種は少ない。さらに、底層DOの目標を設定できた種においても、魚介類の再生産の場の確保のための底層DO目標においては、現時点では仔稚魚や幼生の低DO耐性に関する文献の不足により、多くの種で未成魚又は成魚の低DO耐性を代用して目標値を設定している。今後は、目標設定出来なかった種に関する知見の蓄積及び保全対象とする種の生育・再生産の状態等に応じた貧酸素耐性等に関する知見の蓄積を行い、目標値についての検討を更に進めていく必要がある。

目標値の適用及び評価方法についても、未だ検討が不十分なため、知見の蓄積を行った上で、より一層検討する必要がある。

中長期シナリオに関しては、今後は、策定した中長期シナリオを参考として水質総量削減に係る各対策を推進していくことが必要であるが、技術革新等による新たな汚濁源対策、経済活動状況、エネルギー消費形態、土地利用形態、外洋の水質、埋立等による海岸線等の変化、指定地域外の負荷削減状況などの変化を考慮して、効果的な対策を検討し組み込み直して、中長期シナリオを更新していくことが大切である。

## 8. おわりに

平成19年度より、学識経験者及び関係省庁の参加を得て懇談会を設置し、閉鎖性海域において魚介類等の水生生物や海藻草類の生息・再生産及び親水利用のための目標とすべき水質とその評価方法及び水環境を改善するための施策の中長期的な在り方について議論を行ってきた。その結果から、閉鎖性海域の目指すべき水質等の目標とその評価方法及び水環境の改善に向けたシナリオとそのロードマップについて、「閉鎖性海域中長期ビジョン」としてとりまとめた。

中長期ビジョンの検討に当たっては、地下水管理も含めた流域圏全体の水管理の在り方、湿地の保全、人の水に対する関わり方、水環境における健全な生態系の在り方など多岐にわたる検討が本来は必要であるが、限られた期間内で「はじめに」に述べた「第6次総量削減の在り方について」の課題に対する一定の回答を得ることを優先したために、このような内容構成となったものである。

また、新たな水質目標に対する更なる検討、シミュレーションの更なる進化に向けた検討、技術革新に伴うより効果的な発生源対策や海域における対策技術の開発とともに、継続的なモニタリングの実施が必要であり、そうした最新の検討や環境の状況、情勢の変化に伴う中長期ビジョンの見直しを適宜行っていくことが重要と考える。

市民の親水利用に対する要求が高まる一方で、水辺にアクセスしにくい時代になっていると言われる昨今ではあるが、気候変動を含む様々な変化に適応しつつ、環境基準をはじめとする各種の要件を満足し、多様な生態系が安定に保たれるとともに、人々にレジャーの場や食料を供給する場としての役割を果たす豊かな閉鎖性海域として、今後、東京湾、伊勢湾及び瀬戸内海が今よりも身近に感じられるようになっていくことを望みたい。

そうしたためにも本ビジョンを踏まえ、水質総量削減制度が引き続き実施されるとともに、閉鎖性海域の環境改善に係る施策実施機関及び研究機関等が連携し、市民の理解と協力を得ながら、閉鎖性海域における水質等の管理を実施していくことが重要であろう。