

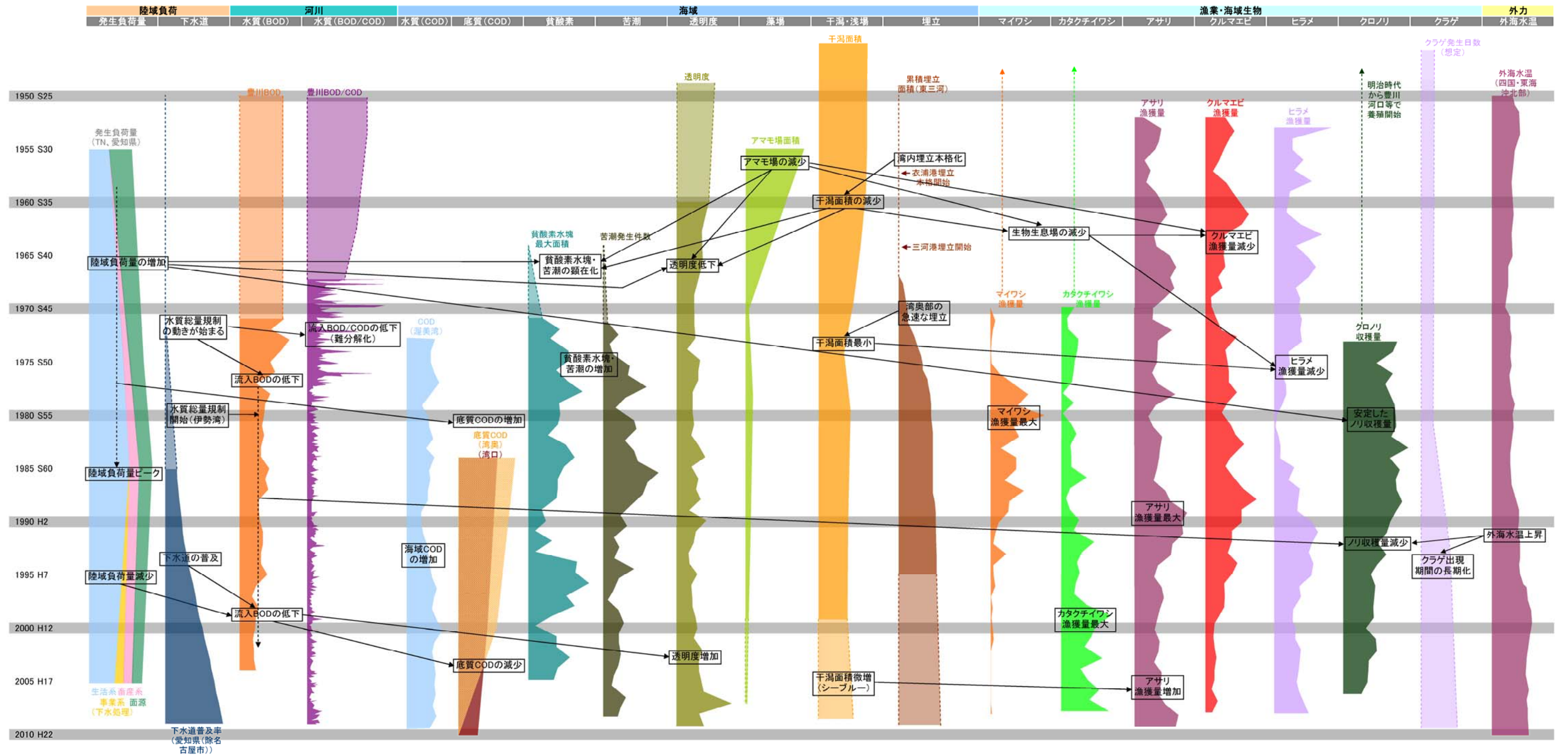
## 三河湾の物質循環健全化計画（ヘルシープラン）の検討

### 1. 三河湾の環境の変遷と変遷から想定される課題

（三河湾の環境の変遷）

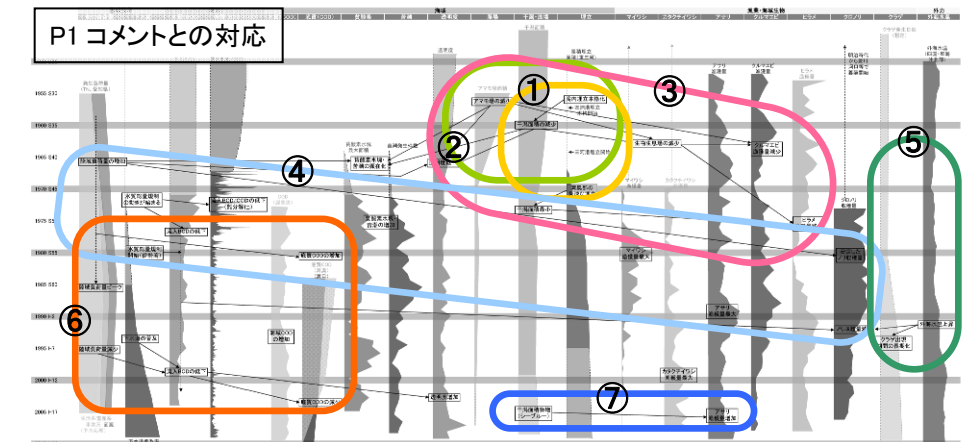
- 干潟の面積は、衣浦港の埋立てが本格的に開始された頃から減少傾向がみられ、三河港の埋立てが開始された後は減少傾向が加速している。(①)
- アマモ場の面積は三河湾内の埋立てが本格化する時期より前、または同時期から減少しており、干潟面積の減少に比べて短期間に激減している。(三河湾における埋立による場の消失だけでなく、伊勢湾奥部など周辺海域の埋立による種子供給量の減少や陸域で使用された除草剤等の農薬の流入による影響が考えられる) (②)
- アマモ場の面積の減少に伴いクルマエビの漁獲量が減少し、干潟面積の減少及び貧酸素水塊の顕在化に伴いヒラメの漁獲量が減少している様子がうかがえる。これらは、それぞれの生物の生態的特性に応じて、干潟や藻場など生物の生息場や幼稚仔の生育場として利用されていた場所が利用できなくなったことが原因と考えられる。(1980年代(昭和50～60年代)の漁獲量の増加は、漁具・漁法の改良による影響があり、その前後の漁獲量を資源量として比較することは適切ではないと考えられる。) (③)
- 陸域で多くの負荷が発生し、海域に栄養が多量に流れ込むことによって、1970～1980年代(昭和40～60年代)はノリの収穫量が安定していたと考えられる。陸域の発生負荷量の減少及び流入河川のBODの低下(排水処理の進展)により流入する栄養が減少したこと、また、海水温が上昇したこと(外海水温から想定)から、ノリの収穫量が減少したものと考えられる。(④)
- クラゲは1960年代(昭和30～40年代)にも出現しており、1980年代頃から出現期間が長期化していると想定している(漁業者ヒアリングより)。同時期に外海水温の上昇傾向がみられることから、クラゲの出現時期の長期化には水温の上昇が影響していると予想される。(⑤)
- 陸域から流入する栄養を減少させても、海域の水質のCODはわずかに減少傾向を示すものの、1990年(平成2年)頃を境に逆に増加傾向に転じている。一方で内湾部の底質のCODは減少傾向にあると想定している。外海水の影響も含めた判断が必要である。(⑥)
- 近年のシーブリュー事業等により干潟面積は微増している。加えて、湾奥部の六条干潟で採取したアサリ稚貝を三河湾湾内の他の干潟・浅場へ放流する等の漁業者による資源回復の努力等もあり、アサリの漁獲量は増加している。(⑦)

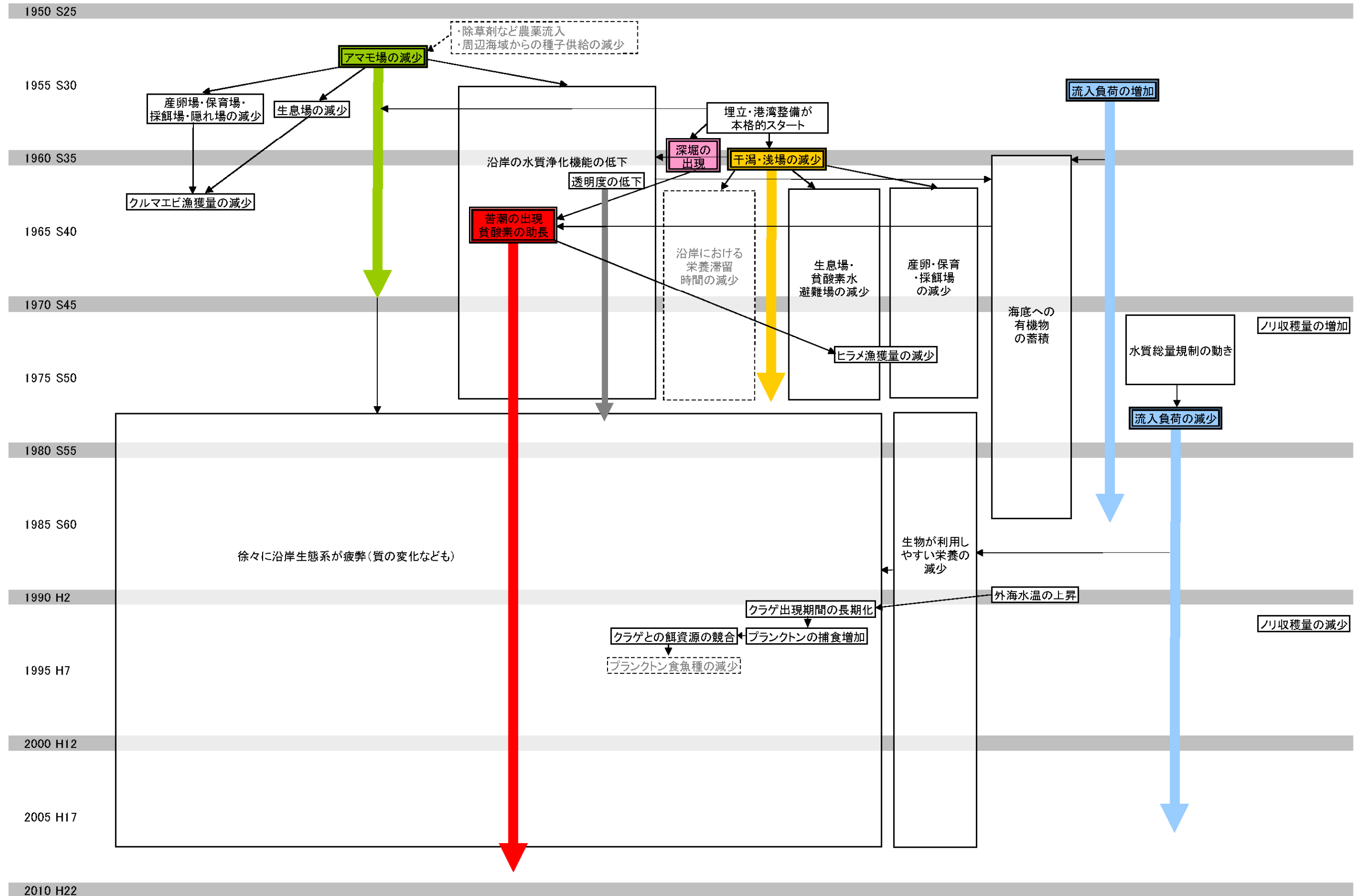
※見出しの色及び文末の番号はP2右下図との対応を示す。



注) 図中の破線は想定またはイメージである。

図 1.1 三河湾の環境要素の変遷





注) 図中の破線は想定である。

図 1.2 三河湾の環境の変遷

(変遷から想定される三河湾の課題)

- 流入負荷を減少させることによって、湾奥の底質の COD が改善しつつあるが、依然として貧酸素水塊や苦潮の発生が続いている。流入負荷を減少させる（人に例えると“食事療法”）だけでは三河湾に円滑な物質循環は再生されないと考えられる。
- 三河湾が豊かであったと想定している 1960 年代（昭和 30～40 年代）と現代を比較すると、流入する栄養の量、アマモ場面積及び干潟面積が 1960 年代の方が圧倒的に多く、流入する栄養も生物が利用しやすい質のものが多かったと考えられる。また、1960 年代には湾奥を中心に沿岸に広い浅海域が広がることによって、流入する栄養が長時間滞留し生物に十分に行き渡る状況があったと考えられるが、その後の沿岸の埋め立て等により、流入した栄養がごく沿岸の生物に十分に行き渡る前に、生物が少ない沖合付近まで早く到達する状況に変化したのではないかと推測している。三河湾では水深が浅く栄養が滞留しやすい来生物生産力の高い部分が、生物が少ない水深の深い部分で起こっている貧酸素水を抑制する重要な要素を担っていたと考えられる。沿岸の活発な生物生産を失ったことは円滑な物質循環を取り戻すための大きな課題であると想定している。
- ただし、1960 年代と比較すると三河湾の背景となる条件が変化している可能性がある。特に、外海からの栄養の流入、水温の上昇が課題である。

## 2. 三河湾の改善策（ヘルシープラン）の想定

三河湾の変遷や問題点を踏まえて、改善策（三河湾のヘルシープラン）については以下のとおり想定している。また、改善策を実施するにあたっての課題もあわせて示す。

- ① 改善策の基本は高い生物生産が起こる水深の浅い場所の再生
  - 三河湾の物質循環の変遷から課題を検討した結果、三河湾の物質循環を改善するために最も本質的な重要なことは、かつて沿岸に広がっていた水深の浅い場所が持つ高い生物生産力を取り戻すことと考えている。
  - 具体的には 1960 年代（昭和 30～40 年代）を中心に減少した重要な生物生産の場である干潟・浅場、アマモ場を再生することが必要である。
  - 干潟・浅場の再生にあたっては、造成材の確保が課題となっている。流入河川の上流に位置するダムの堆積砂を活用するなど、陸域と海域が一体となった改善策の展開が必要である。また、このように造成材の確保が難しい状況においては、より効果的な干潟・浅場再生場所の選定が必要であり、それについては実証試験の結果から具体的に検討する予定である。
  - アマモ場の再生にあたっては、アマモが生育する基盤（干潟・浅場）の再生が前提として必要になるとともに、ある程度砂が安定している、アマモが生育しやすい場所を選定することが必要である。
  
- ② 貧酸素水の抑制策の推進
  - 生物生息場所である水深の浅い場所の環境を再生することによって、陸域や湾外から湾内に流入してくる栄養塩はより生物に利用されやすくなり、これまで海底に沈降していた未利用の栄養が減少することによって、貧酸素水を抑制する効果があると考えられる。
  - かつて沿岸の水域を掘削して水深を深くしたため、物理的に貧酸素水が発生しやすくなっている場所の埋め戻しも必要である。
  - 埋め戻しにあたっては、港湾等から発生する浚渫土砂を用いることが考えられるが、そのほとんどはシルト分を中心とした微細な粒径である。浚渫土砂を用いた埋め戻しを行う場合は、本来砂が多い三河湾ではそれに対応した生物が多いことを考慮して、できれば表層部は良質砂を用いて覆砂することが望ましいと考えられる。ただし、この覆砂材としては、①で述べた干潟・浅場造成材と同質の材料が必要であり、その入手に関する検討が必要である。

### ③ 対症療法の推進

三河湾に円滑な物質循環を再生するためには、①～②に挙げた本質的な治療にあたる対策が必要であるが、それぞれ実施の課題を抱えており、一朝一夕に推進されることは考えにくい。

- 上記の対策を進行させる間にも貧酸素水の影響等によって、三河湾の生態系が徐々に疲弊していく恐れがあり、できる限りその疲弊を最小限に止めるための対症療法が必要になると考えられる。
- 対症療法の1つとして、沿岸部で過剰な栄養が蓄積している場所での生物を用いた栄養消費策を想定しており、その具体的な方法については実証試験の結果を踏まえて検討する。

### ④ 豊かな生物生産を維持する適切な栄養の供給

- 上記の対策により、一定の沿岸生態系の再生策が進行したのちには、三河湾の環境収容力に応じたバランスの良い栄養の供給が必要である。特に、貧酸素水の助長に留意しながら、どのような質のどの程度の量の栄養を三河湾に補給する必要があるかを検討することが必要である。
- この具体的な対策については、いくつかの要素の相互作用を含めて検討する必要があることから、総括委員会において構築されているシミュレーションモデルを用いて検討する。

以上の内容をイメージとして、次図に示した。

## 生態系の基盤再生

### ①生物生息場所の再生

#### <干潟・浅場の再生>

国土交通省・愛知県実施（過去に失った1,200haのうち約50%（約600ha）を再生）

課題 造成材の不足、再生適地の選定

課題 覆砂材の不足

課題 再生適地の選定

#### <アマモ場の再生>

漁業者などを中心に一部推進中（三河湾では過去に比べて1/15の面積に減少）

アマモの生息基盤となる干潟・浅場が必要

生物生息場所の再生によって沿岸の栄養ストック機能を高めた上での対策が必要

## 生息環境の改善

### ②貧酸素化助長要因の抑制

#### <貧酸素水助長地形（深掘）の改善>

国土交通省・愛知県実施中

#### <沿岸緩衝帯における栄養貯留>

①生物生息場所の再生（国土交通省・愛知県実施中）

#### 沿岸の物質循環をより円滑にするための対症療法（実証試験より）

- ・生物導入による蓄積した栄養の利用推進
- ・より効果的な生物生息場の創出など

### ③ 生物が利用できる栄養の供給（数値シミュレーションより）

「貧酸素水を助長せずに」「豊かな生物生産を維持できる」栄養供給

検討例）貧酸素水発生時期を避けた栄養供給、再生した生物生息場所への集中した栄養供給、（漁業用水の考え方（参考））

沿岸生態系の再生による円滑な物質循環再生

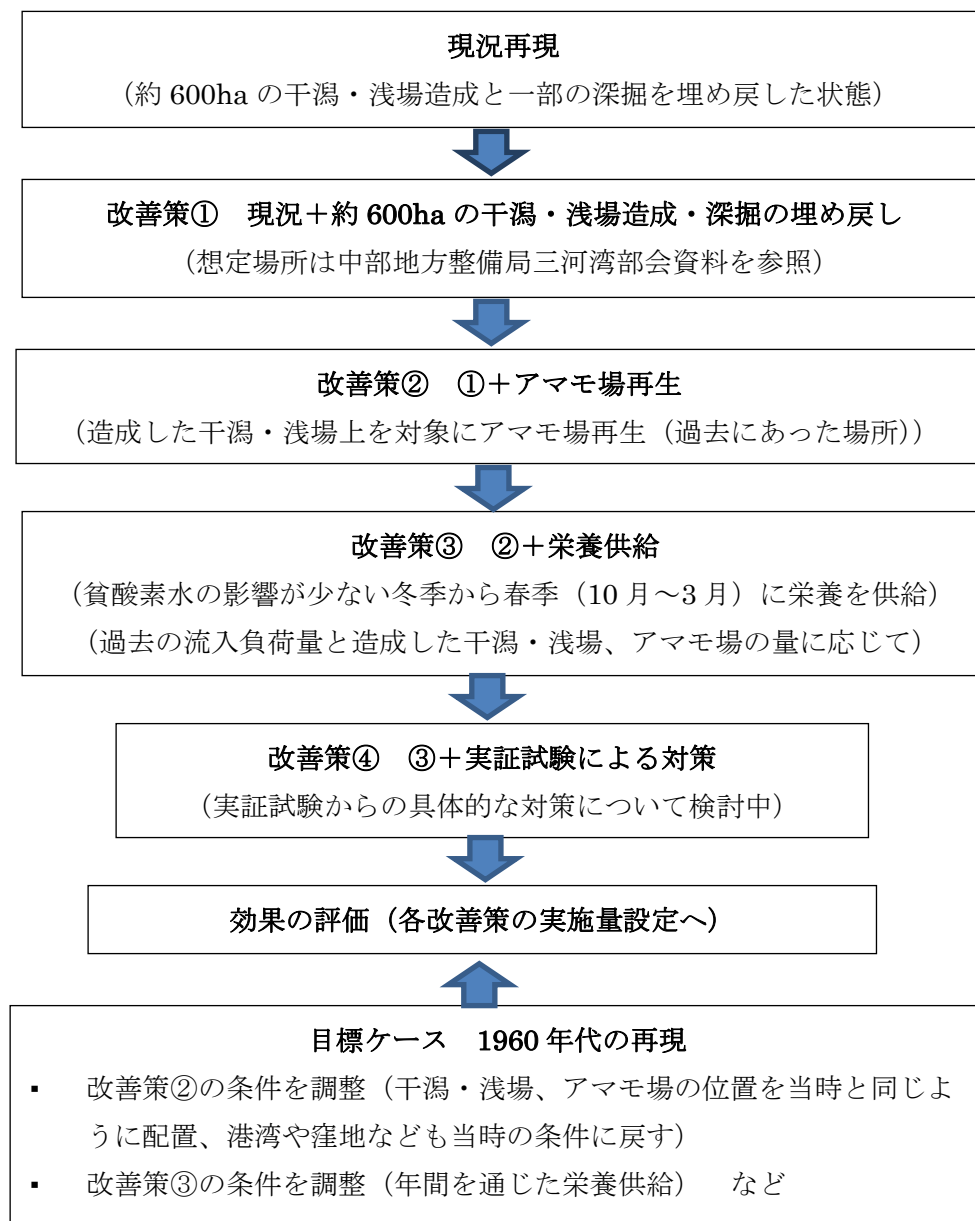
### 3. 改善策による効果の推定ケースの設定

以上、抽出した改善策の効果について、数値シミュレーションモデルを用いて定量的に評価する。

「2. 三河湾の改善策（ヘルシープラン）の想定」で挙げられた対策を順に条件としてモデルに与え、基礎生産力がどの程度円滑に高次生産へ転換されているかを評価の基本として、それが貧酸素水をどの程度抑制できるかを評価することによって、三河湾の環境が自律的にヘルシーを維持できる海域になるかを評価したいと考えている。

なお、評価の基準としては、三河湾が豊かだったと想定される 1960 年代（昭和 30～40 年代）が考えられるため、その時代の環境について再現するケースも 1 ケースとして追加する。

ケースと検討イメージは下図に示すとおりである。





## 4. 三河湾モデル構築にあたっての工夫点

### 4.1 モデルの課題とその対応状況

以下に物質収支モデルについて挙げられた課題とその対応案および現時点での対応状況を示す。

課題	対応案	対応状況
<課題1> 流動モデルについて、風向風速場に分布を与える。	伊勢・三河湾周辺の地上気象観測地点と海上風観測地点を用い、風向風速場に分布を与える。	対応済み。
<課題2> 水質モデルについて、ナノ・ピコプランクトンの考慮およびベントスをメイオベントスとマクロベントスに区分する。	ナノ・ピコプランクトンの考慮およびベントスをメイオベントスとマクロベントスに区分する予定である。	モデル改変終了。現在、チューニング中。
<課題3> 境界付近の観測値を考慮して現況再現年次を追加する。(昨年度の三河湾WGにおいて、中山水道ブイが設置された2009年を現況再現年次として設定するよう要望されている。)	愛知県水産試験場で観測を行っている渥美外海観測のデータと伊勢湾口ブイデータを比較し、2009年の渥美外海データを補正することにより境界条件の設定を検討する。	ブイデータ収集済。 現在、河川データを収集依頼中。 今後三河湾WGと調整する予定。

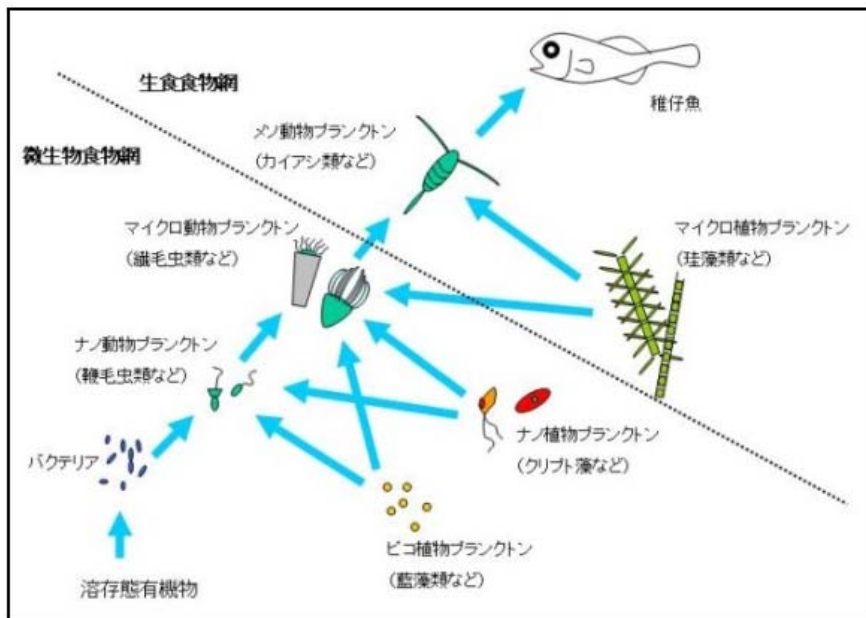
## 4.2 生態系モデルの構成要素について

昨年度構築したベースモデルである生態系モデルでは、プランクトンについては、植物プランクトン1種、動物プランクトン1種を構成要素としている。一般に、海産プランクトン群集は、そのサイズによって表4.1のように分類されるが、ベースモデルで対象としているプランクトンはマイクロプランクトンからメソプランクトンにかけてのサイズのものである。また、ベースモデルにおけるプランクトンの食物網の考え方は、図4.1における生食食物網で、動物プランクトン1種が植物プランクトン1種を捕食する、というものである。

表 4.1 代表的な海産プランクトン群集の分類

サイズ区分	植物プランクトン	動物プランクトン
ピコプランクトン (0.2~2 μm)	藍藻類	鞭毛虫類
ナノプランクトン (2~20 μm)	クリプト藻類, ハプト藻類, 渦鞭毛藻類, 珪藻類	鞭毛虫類, 繊毛虫類
マイクロプランクトン (20~200 μm)	渦鞭毛藻類, 珪藻類, ラフィド藻類, ユーグレナ藻類	有孔虫類, 放射虫類, 繊毛虫類 カイアシ類(ノープリウス幼生)
メソプランクトン (200 μm~20mm)	藍藻類(群体性), 珪藻類(群体性), 渦鞭毛藻類	カイアシ類(ノープリウス, コペポダイト, 成体) 枝角類, オキアミ類, ヤムシ類, サルバ類, 尾虫類 ヒドロ虫類
マクロプランクトン (2~20cm)		オキアミ類, ヤムシ類, サルバ類, ヒドロ虫類
メガプランクトン (20~200cm)		鉢クラゲ類

(株)日本海洋生物研究所ホームページより)



(株)日本海洋生物研究所ホームページより)

図 4.1 海洋プランクトン生態系における食物網の概念

図 4.3 に三河湾WGによる現地調査結果からプランクトン炭素現存量を示す（測点については図 4.2 参照）。この中で、バクテリアについては、観測が測点 1 と 4 のみであることに注意が必要である。また、2011 年 6 月 28 日の調査結果については、ネット法による動物プランクトンと採水法による動物プランクトンについても図化しているが、これらの炭素量換算については暫定的なものである。

この結果と伊勢湾における既存の調査結果（福留ら、2000）との比較を表 4.2 に示す。ただし、三河湾 WG の動物プランクトンについては、2011 年 6 月のネット法による動物プランクトンのデータを用いた。

表 4.2 既存の調査結果との比較（単位：pgC/mL）

	伊勢湾における既存調査結果			三河湾WG調査結果		
	Max.	Min.	Ave.	Max.	Min.	Ave.
Phytoplankton	3,001,882	-	417,543	519,828	0.813	121,146
Bacteria	114,902	5,128	34,293	80,800	10,420	42,510
Synechococcus	98,172	53	9,480	55,234	27	6,232
ANF	262,707	1,304	35,954	232,324	6,621	42,863
HNF	235,143	818	28,136	39,904	3,551	14,863
Zooplankton	817,547	5,363	50.935	561,623	4,771	102.113

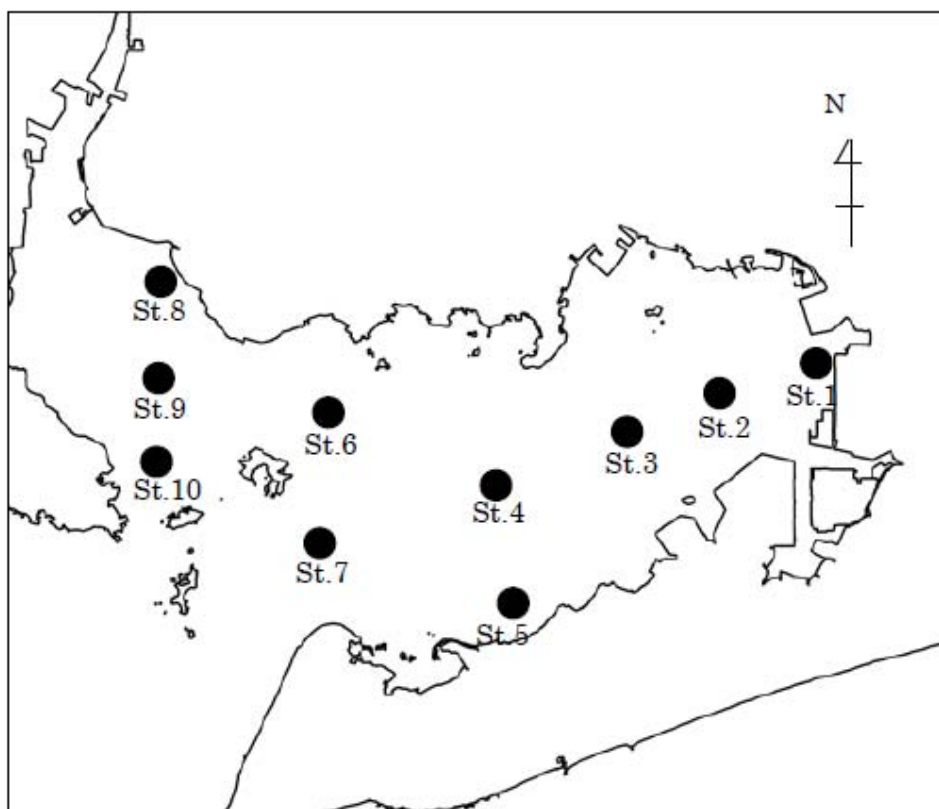


図 4.2 調査地点位置図（平成 22 年度三河湾WG 報告書より）

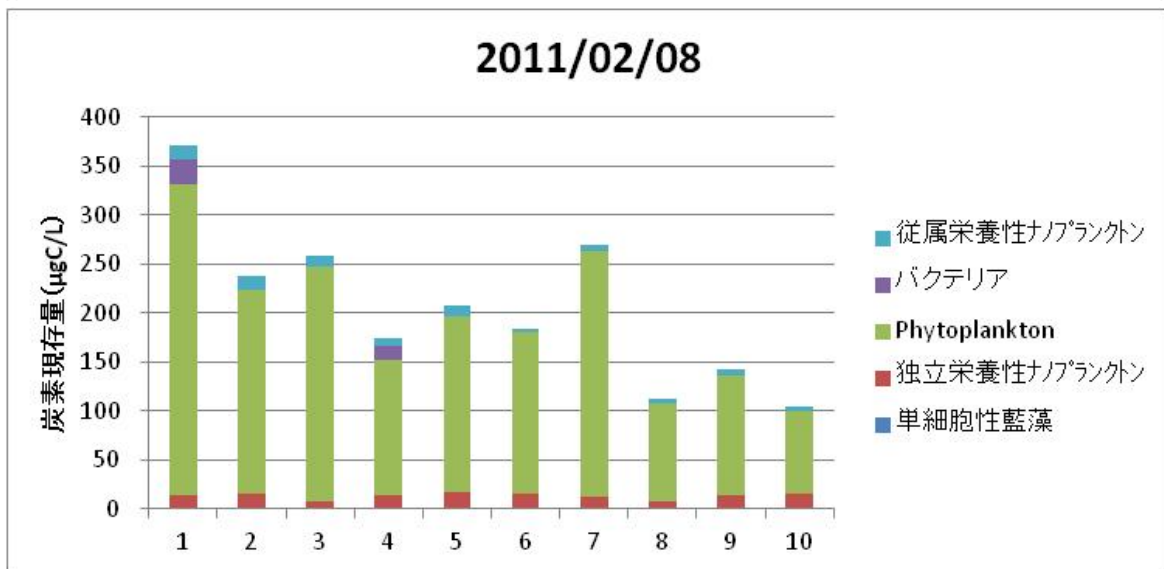
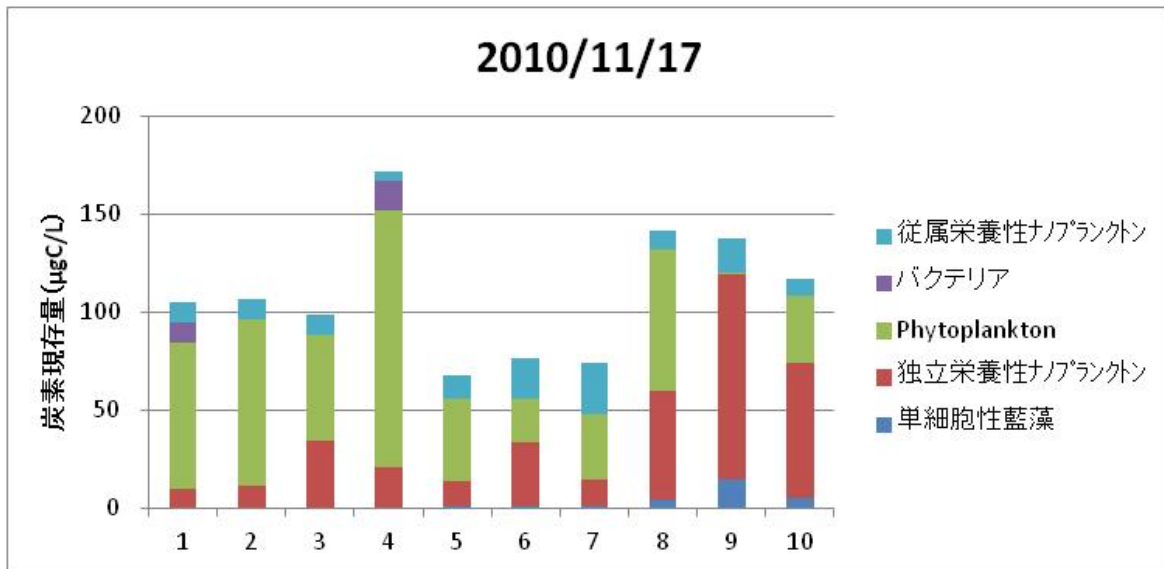
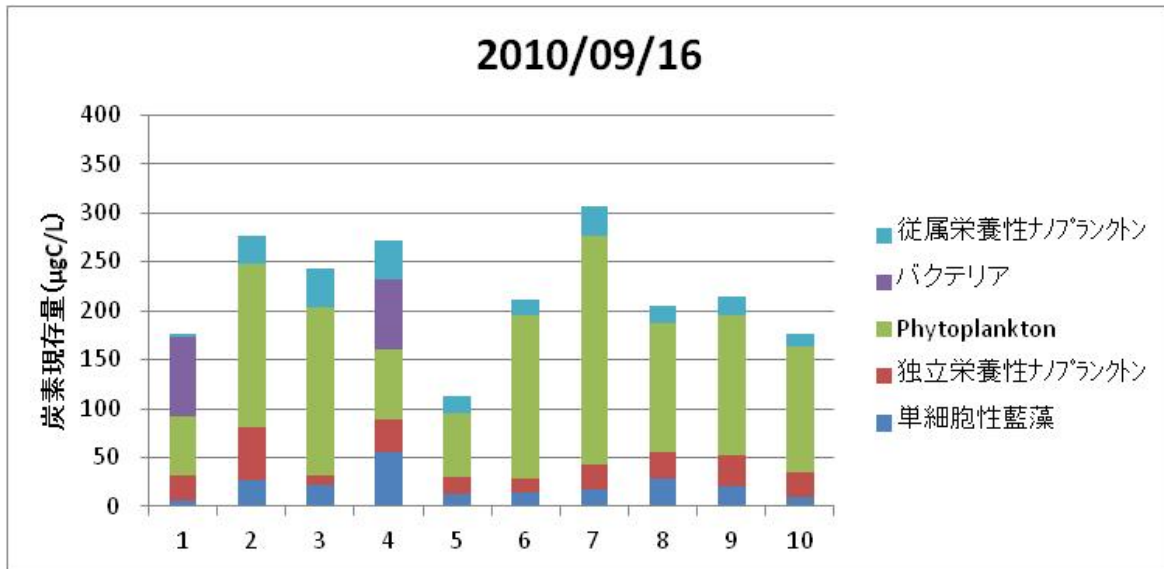


図 4.3(1) プランクトンの炭素現存量

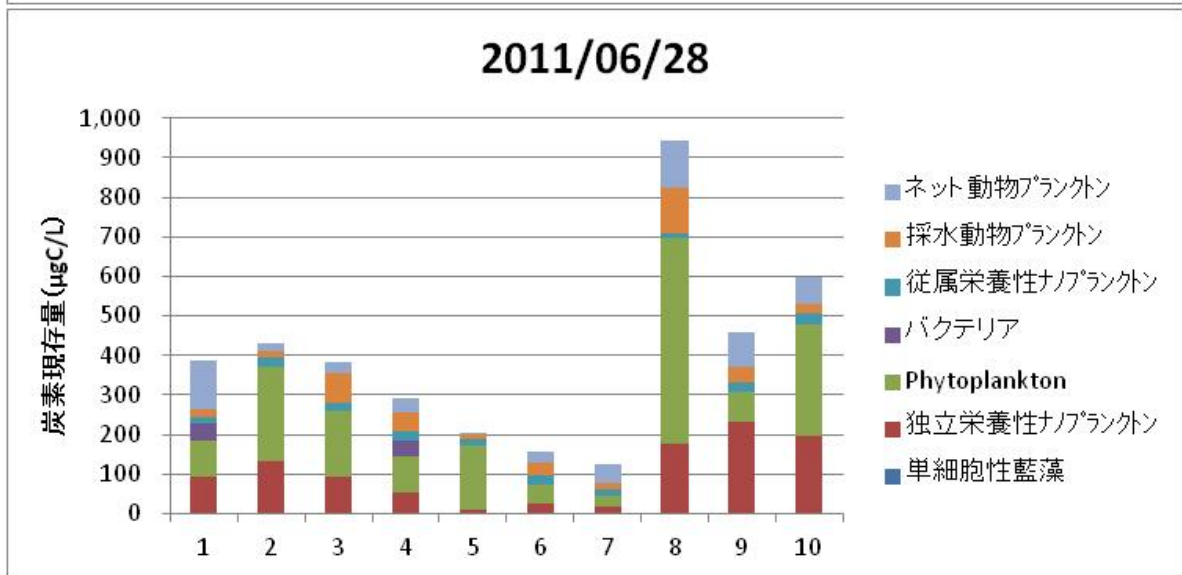
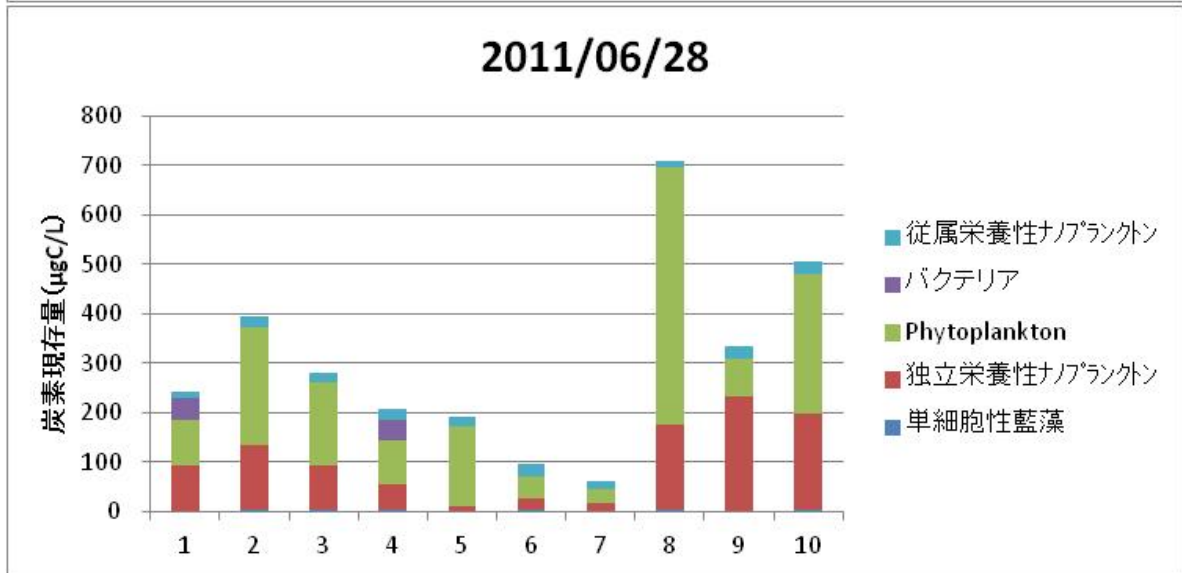
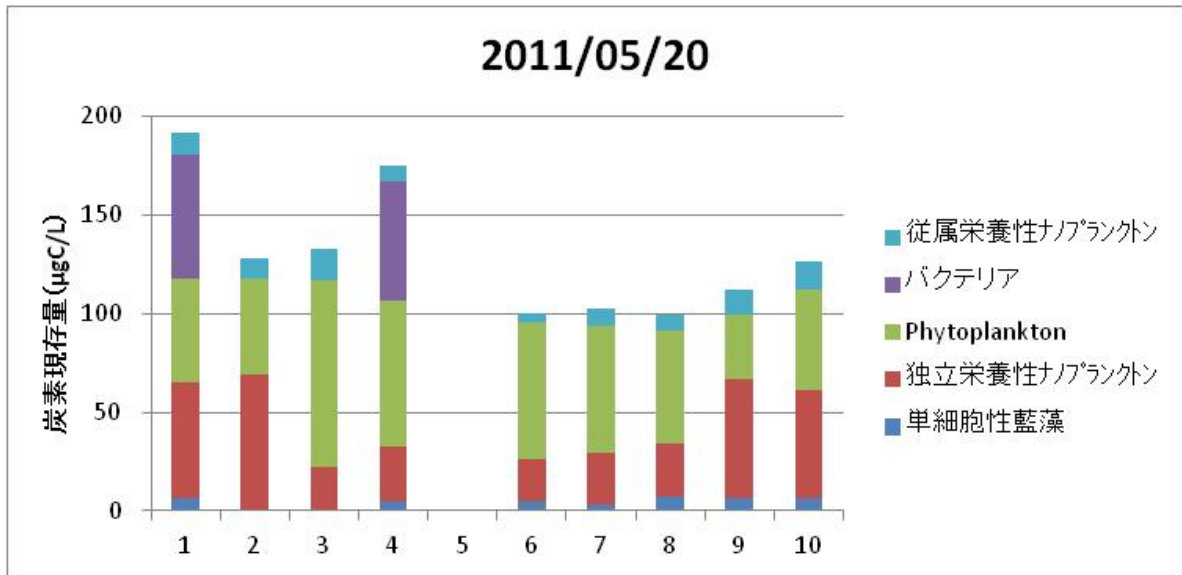


図 4.3(2) プランクトンの炭素現存量

動物プランクトンは、基礎生産等によって生成された有機物を消費し、さらに高次の消費者に捕食されることにより、水域における物質を低次から高次へと受け渡す役目を担っており、水域内の物質循環を考える上で非常に重要であるとともに、水産の視点からも浮魚類の餌料として重要な位置づけにある。

このため、1950年前後より漁海況予報を目的として全国各地の水産試験研究機関により定線調査が開始され、1964年以降には水産庁予算により、浅海定線、沿岸定線、沖合定線と呼ばれる観測定線が日本全域に整備され、水温や塩分等の調査とともに漁業資源の餌料環境を把握する目的でネットにより動物プランクトンの採集が行われている。これらのデータのうち、本州東方海域を対象とした1950年代からの動物プランクトンの湿重量を解析したデータセットは、解析者に因んでオダテコレクションという通称で知られている。小達(1994)のデータは、動物プランクトン現存量が長期的に変動していることを明らかにし、このような変動は、気候変動と相関があると考えられている。杉崎(2008)はさらに、オダテコレクションを解析し、気候変動パターンとカイアシ類の生産との関係や捕食者としてのマイワシ資源量との関係について考察している。

三河湾における動物プランクトンの長期変動については、船越(1995)や山田・柳橋(2009)が解析を行っており、現存量の低水準とマイワシの関係や、現存量の増加における暖水種の増加と秋季の水温上昇等について考察されている。

図4.4に1980~1994年、1995~2009年の三河湾内の4測点における沿岸定線プランクトン湿重量(単純年平均値)の経年変化を示す。㊦Bネット(目合330 $\mu$ m)で採集していることから、ここでは得られた値はカイアシ類を中心とした動物プランクトンの値であると仮定した。小達(1994)では、本州東方海域の動物プランクトン現存量は1980年代半ばから1990年代初頭まで低水準期でその後高水準期に移行している。三河湾では、1980年代と1990年代後半は概ね低水準であり、1990年代後半から2000年代半ばにかけて高水準の現存量を示す測点が見られる。

図4.5に、1956~2010年の愛知県のいわし類漁獲量の経年変化を示す。船越(1995)は1980年と1987年の動物プランクトン現存量の低下は、マイワシ来遊量との関係で説明できるとしている(図中の白矢印が該当年)。また、逆にマイワシ漁獲量が低下している年は動物現存量が多くなっている(図中黒矢印)。

以上のことから、イワシ類による捕食圧を漁獲量から推定してモデルで考慮する。

#### 参考文献：

小達和子 1994. 東北海域における動物プランクトンの動態と長期変動に関する研究. 東北水研報 No. 56: 115-172.

杉崎宏哉 2008. 東北海域の動物プランクトンの長期観測(小達コレクションの解析). 日本プランクトン学会報 第55巻 第1号: 30-32.

船越茂雄 1995. 伊勢・三河湾における動物プランクトンの変動—マイワシ来遊量との関係—. 日本海洋学会大会講演要旨集 秋季:388-389.

山田智・柳橋茂昭 2009. 伊勢湾・三河湾におけるかいあし類の長期変動. 日本プランクトン学会・日本ベントス学会合同大会

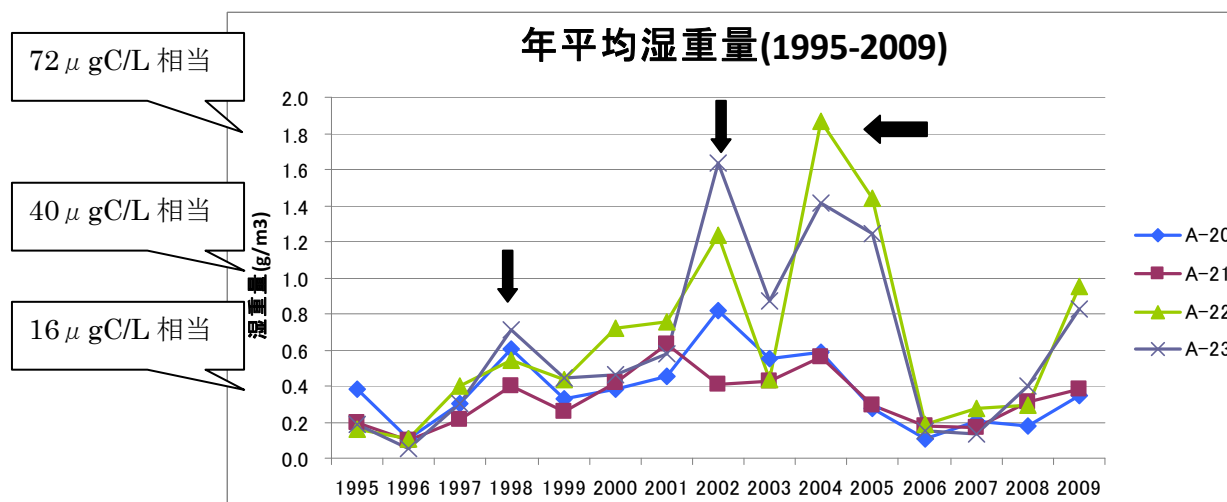
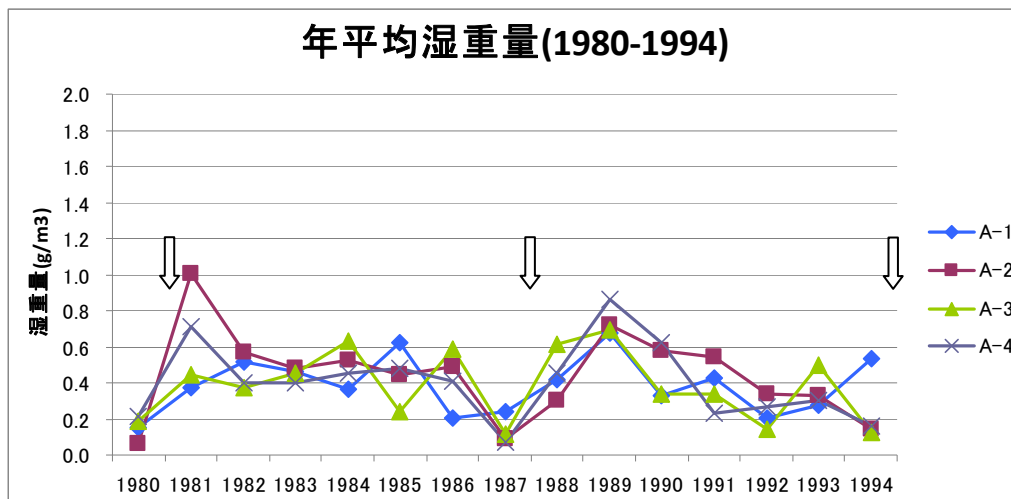


図 4.4 三河湾内の 4 測点におけるプランクトン湿重量の経年変化

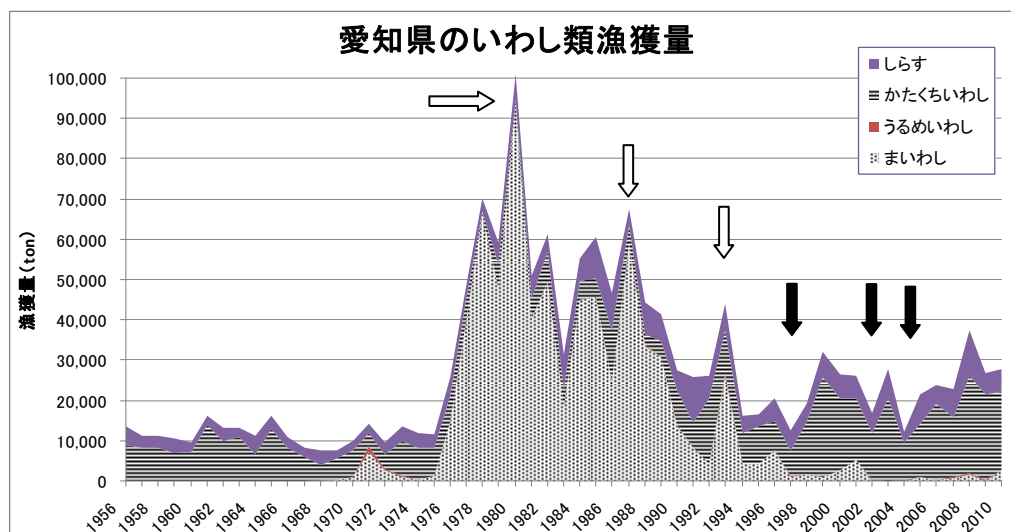


図 4.5 愛知県のいわし類漁獲量の経年変化

図 4.6 と図 4.8 に昨年度の三河湾 WG において実施された現地調査結果からマクロベントスとメイオベントスの調査結果を窒素現存量に換算した結果を示す。

マクロベントス現存量については、懸濁物食者 (SF) は 9 月の測点 1 (六条潟) でもっとも高く、この内訳はほとんどがアサリであった。11 月、2 月調査時には測点 1 (六条潟) のアサリ現存量は低く、6 月には再び高い値を示した。測点 8 (一色干潟) では、9 月と 11 月の調査ではアサリが優占していたが、2 月と 6 月の調査ではアサリは出現しなかった。測点 1 (六条潟) と測点 8 (一色干潟) におけるアサリの平均体重を以下に示す。これによると、測点 1 (六条潟) で採取されたアサリは、主に稚貝であることがわかる。

アサリの平均体重 (湿重量/個体数) 単位 : g

	2010/09/16	2010/11/17	2011/02/08	2011/06/28
測点 1	0.20	0.31	0.96	0.07
測点 8	11.75	5.04	—	—

過去の三河湾における底生生物現存量調査結果では、六条潟の懸濁物食者 (SF) は 0～30gN/m<sup>2</sup> 程度、一色干潟では 1～10gN/m<sup>2</sup> 程度の値が観測されている。六条潟では特別採捕によって毎年 3000 トン程度の稚貝が稚貝が採集されるため、年間の現存量変化は人為的ではあるが、採捕後の資源量回復は極めて速やかであると考えられる。

堆積物食者 (DF) は、4 回の観測を通して、知多湾内の 3 測点 (測点 8、9、10) において比較的高い現存量が見られる。堆積物食者 (DF) についても、六条潟では 0～5 gN/m<sup>2</sup> 程度、一色干潟では 1～10gN/m<sup>2</sup> 程度の値が過去の調査で観測されていることから、昨年度の調査結果は若干値が低いと考えられる。

メイオベントスは、4 回の観測を通して、知多湾内の 3 測点 (測点 8、9、10) と湾口に近い測点 7 において比較的高い現存量が見られる。メイオベントスについては、過去の三河湾における底生生物現存量調査結果では、一色干潟において 20～50mgN/m<sup>2</sup> という値が観測されており、今回の調査結果は 6 月の測点 8 を除き、ほぼ同程度となっている。



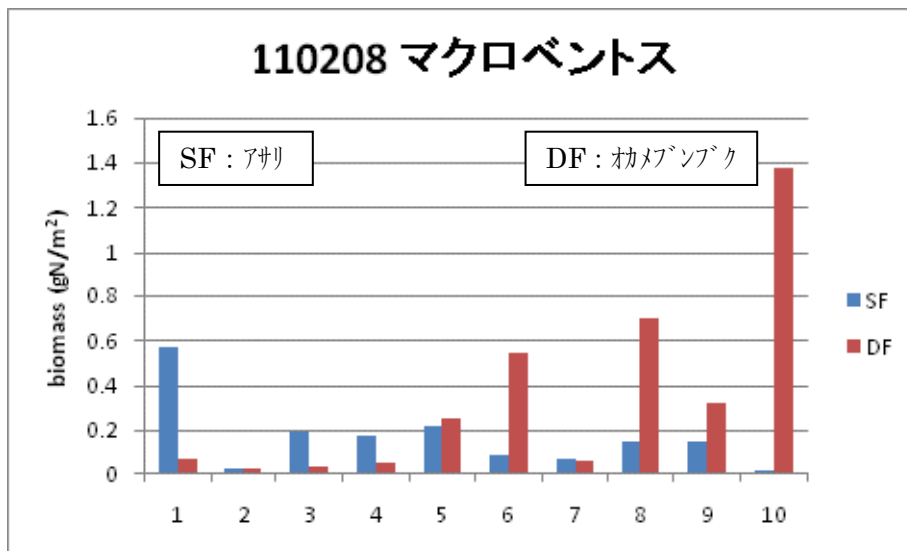
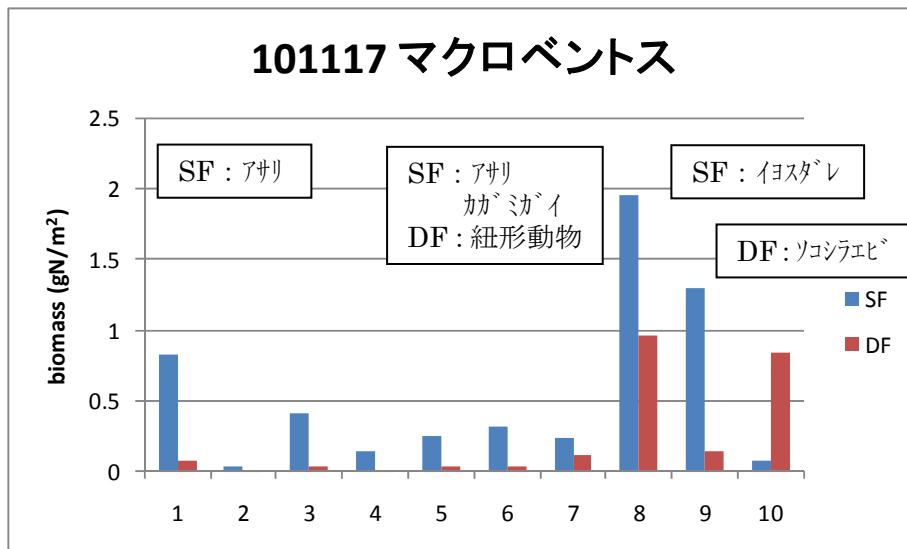
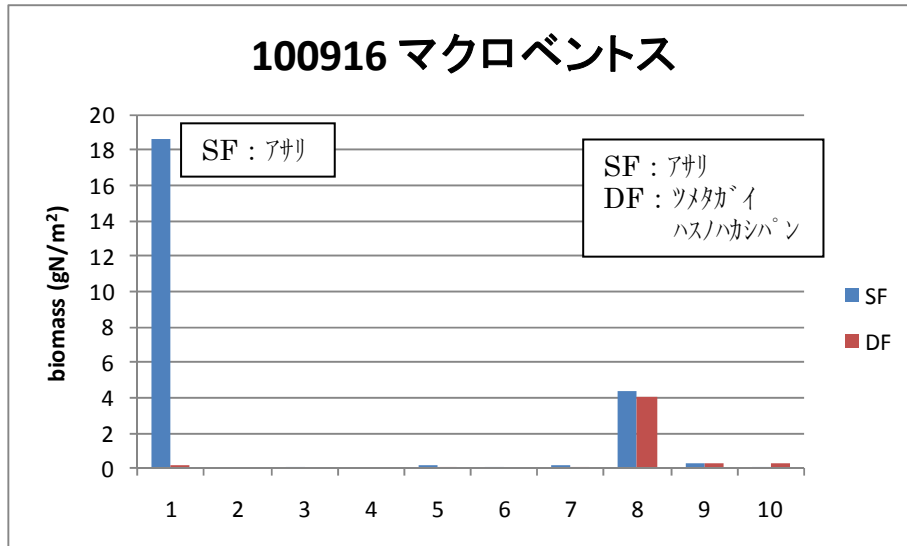


図 4.6(1) 三河湾 WG の現地調査結果 (マクロベントスの窒素現存量)

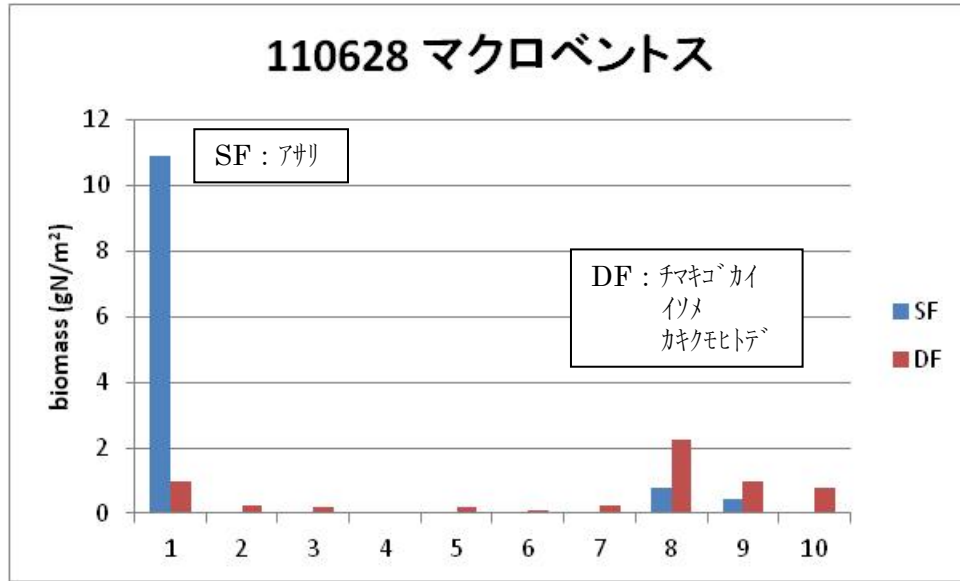


図 4.6(2) 三河湾 WG の現地調査結果 (マクロベントスの窒素現存量)

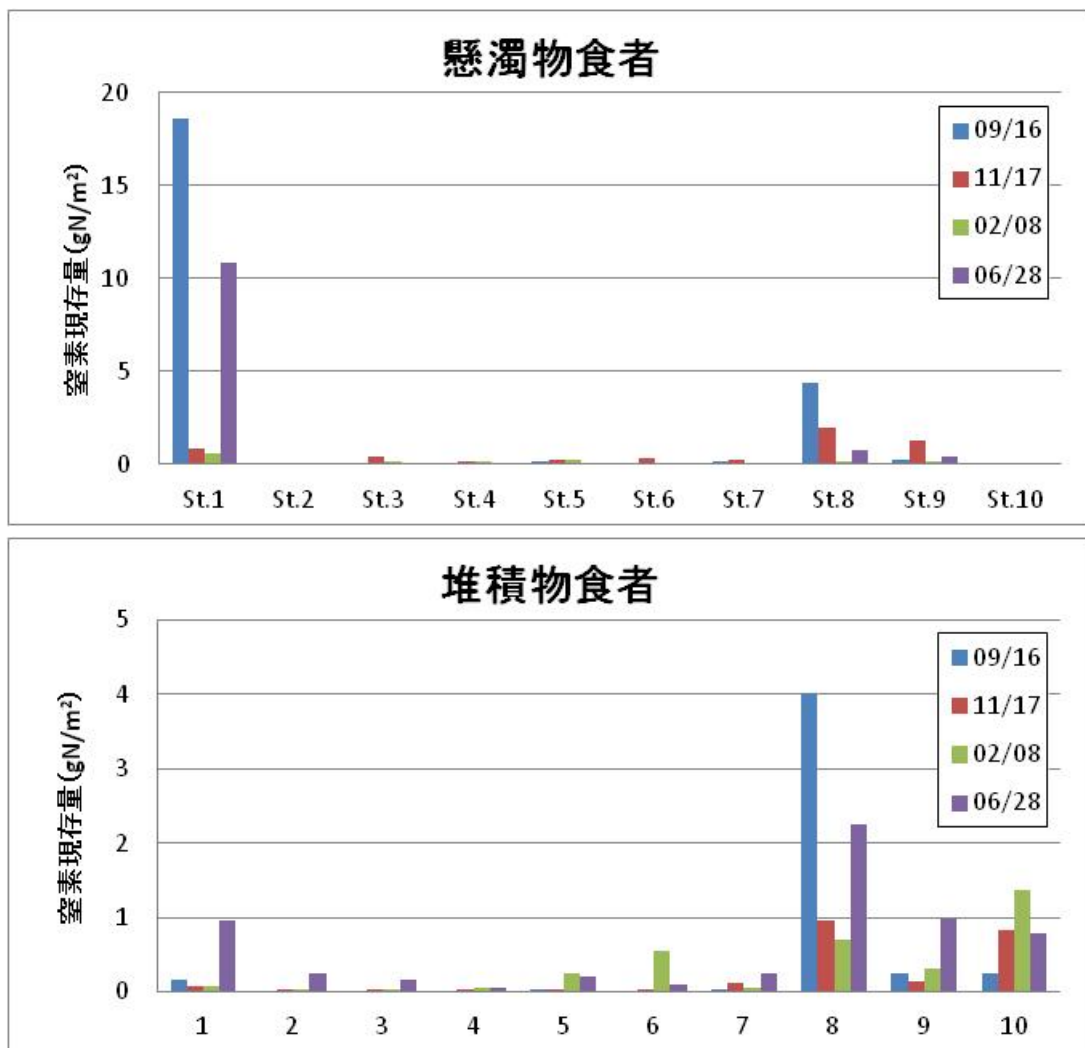


図 4.7 三河湾 WG の現地調査結果 (マクロベントスの窒素現存量)

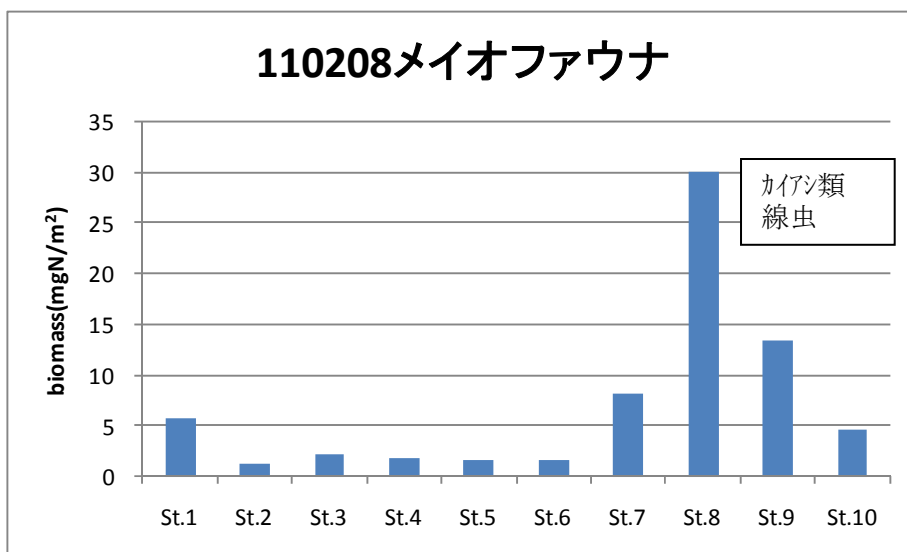
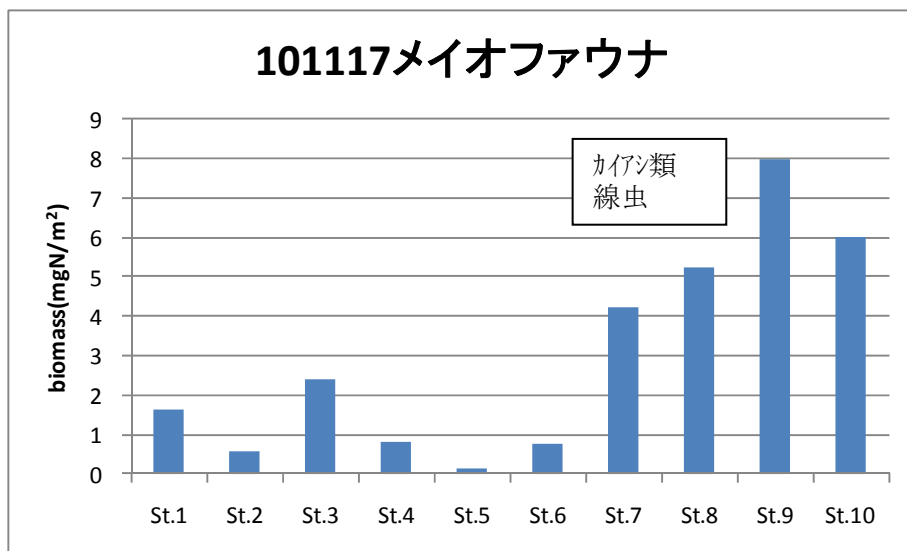
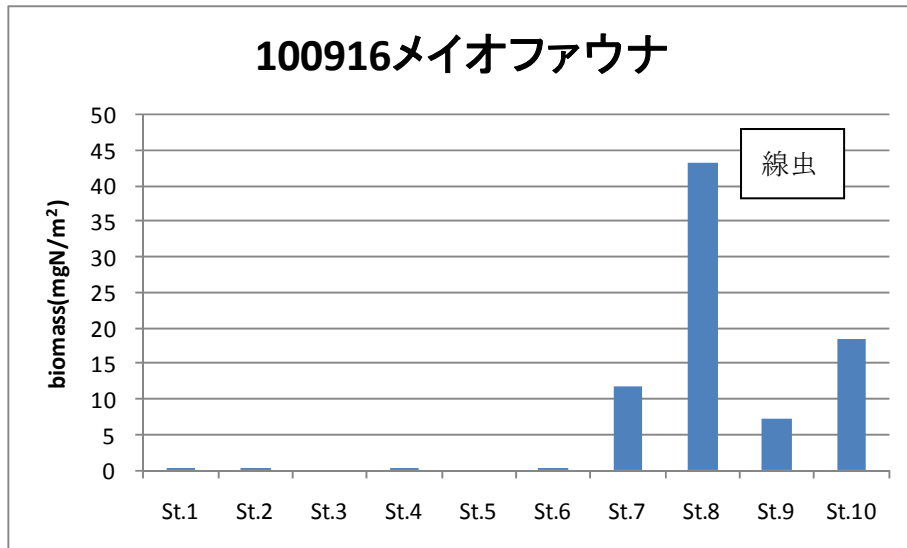


図 4.8(1) 三河湾 WG の現地調査結果 (メイオベントスの窒素現存量)

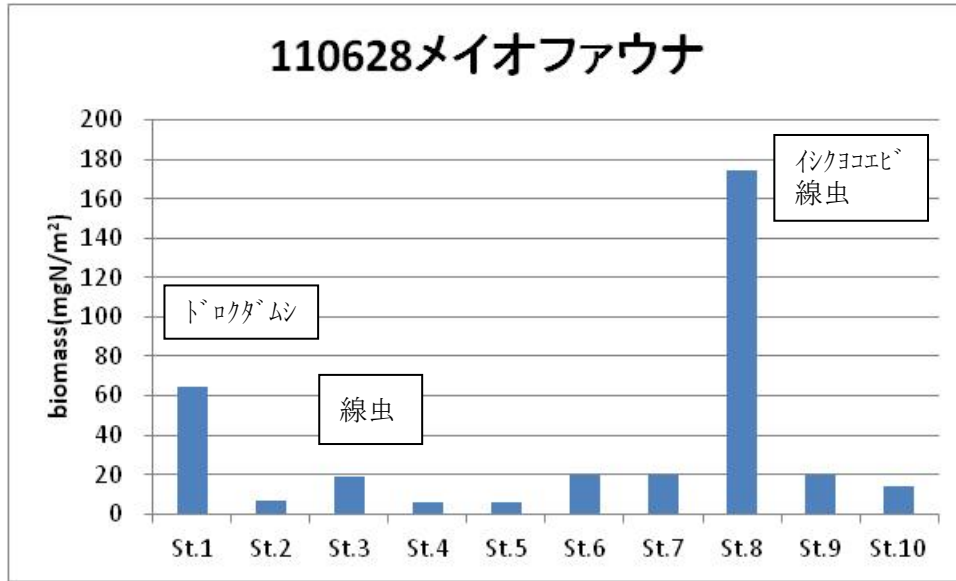


図 4.8(2) 三河湾 WG の現地調査結果 (メイオベントスの窒素現存量)

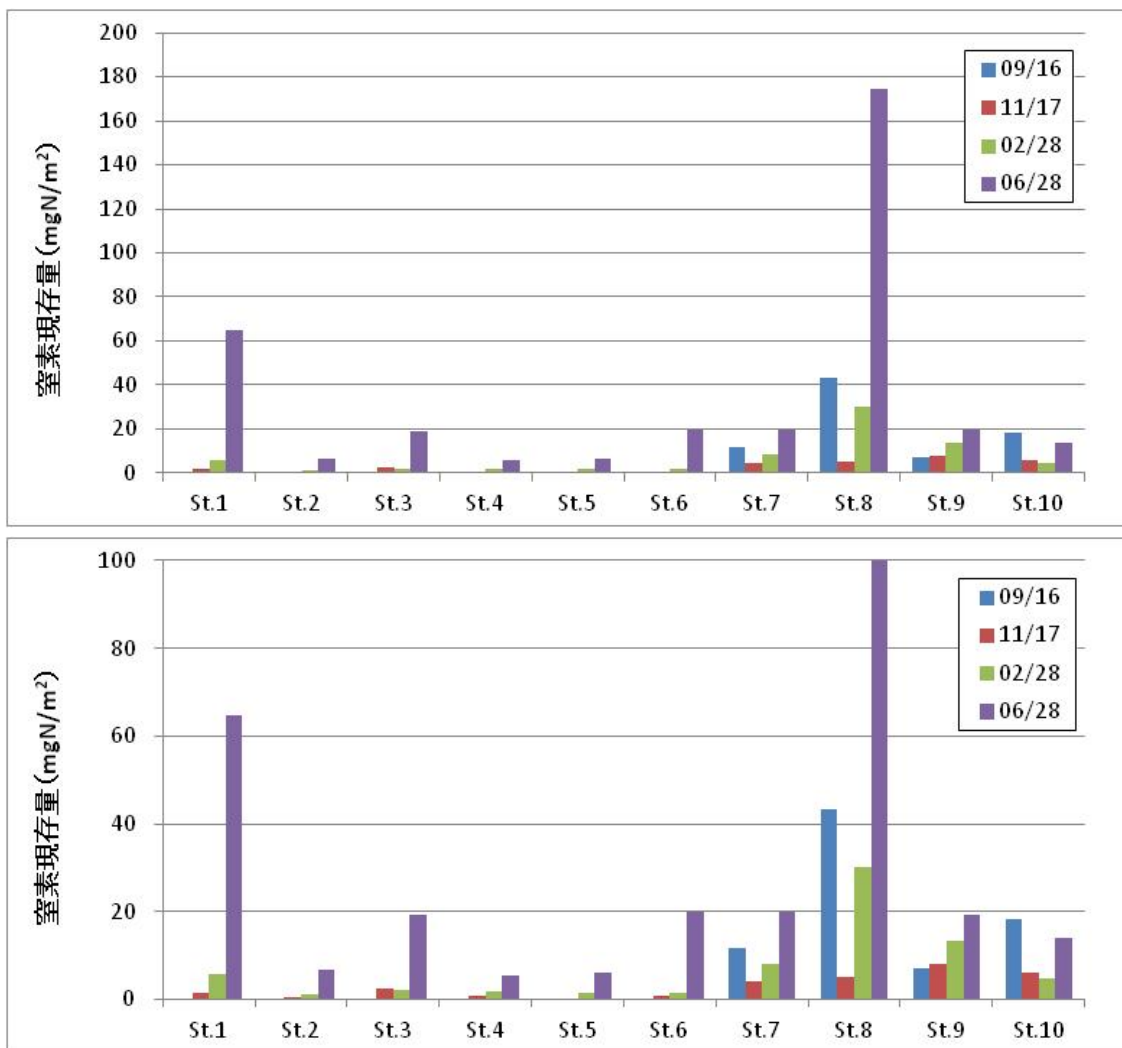


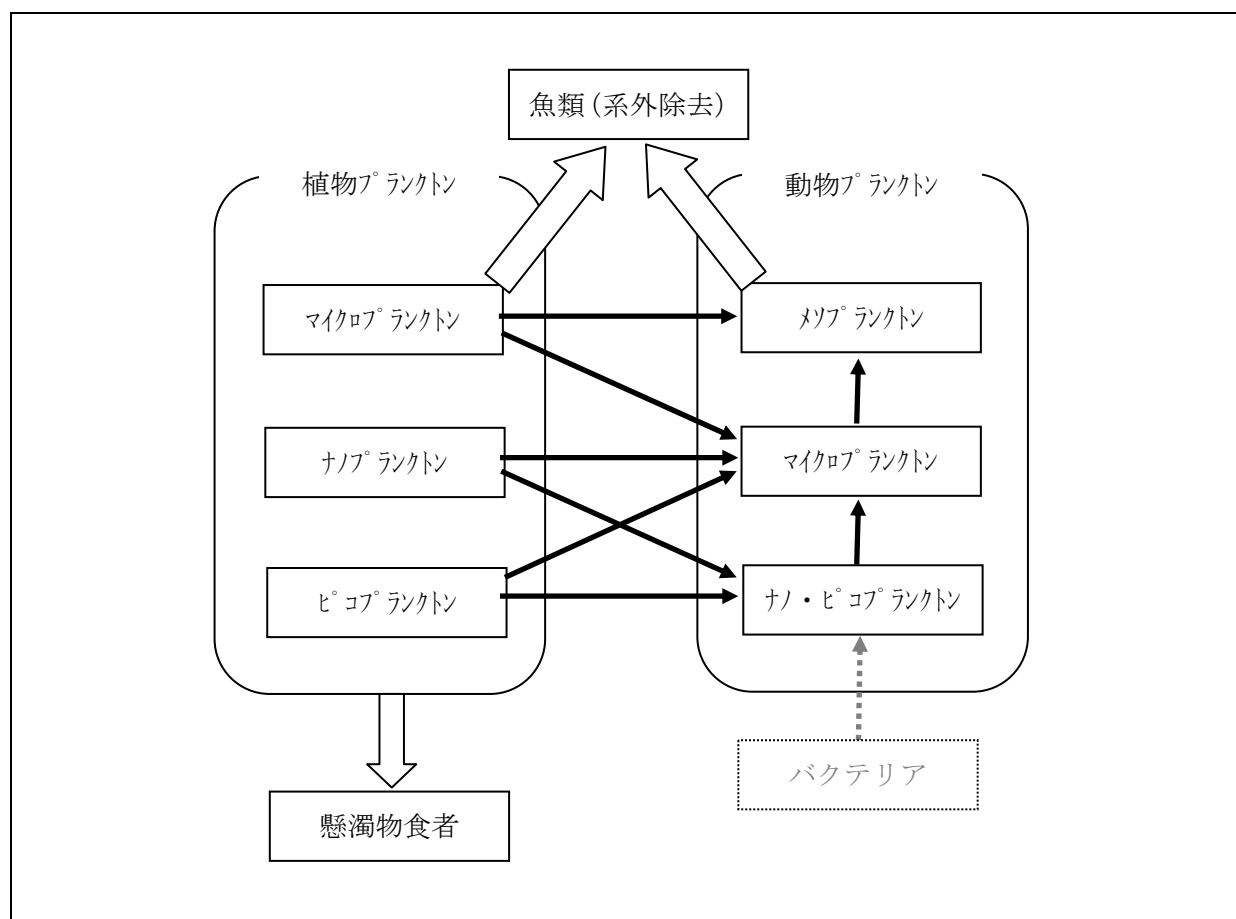
図 4.9 三河湾 WG の現地調査結果 (メイオベントスの窒素現存量)

以上の観測結果を踏まえ、三河湾を対象とした生態系モデルを以下のように改変した。

### 浮遊系の構成要素

昨年度	植物プランクトン		
今年度	ピコプランクトン	ナノプランクトン	マイクロプランクトン
設定方法	単細胞性藍藻	独立栄養性ナノプランクトン	クロロフィル-a から左 2 種を引く

昨年度	動物プランクトン		
今年度	ナノ・ピコプランクトン	マイクロプランクトン	メソプランクトン
設定方法	従属栄養ナノプランクトン	2011年6月の動物プランクトン調査結果	沿岸定線プランクトン調査結果



### 底生系の構成要素

メイオベントス (BMEI) を追加。メイオベントスの餌料は、付着藻類、懸濁態有機物、メイオベントス (共食い) であり、堆積物食者に捕食される。

これらを考慮した計算結果は、水質濃度としてみると、昨年度の結果と大きくは変わらないが、貧酸素後の底生生物の回復がメイオベントスを考慮することによって若干速やかになった。

### 4.3 外海水の影響を踏まえた境界条件について

図 4.11 に 2009 年の中山水道ブイおよび愛知県水産試験場による渥美外海 A-1 の水温・塩分観測結果を示す。また、図 4.12 には 2010 年の中山水道ブイおよび伊勢湾ロブイおよび渥美外海 A-1 の水温・塩分観測結果を示す。それぞれの測定位置は図 4.10 に示す通りである。

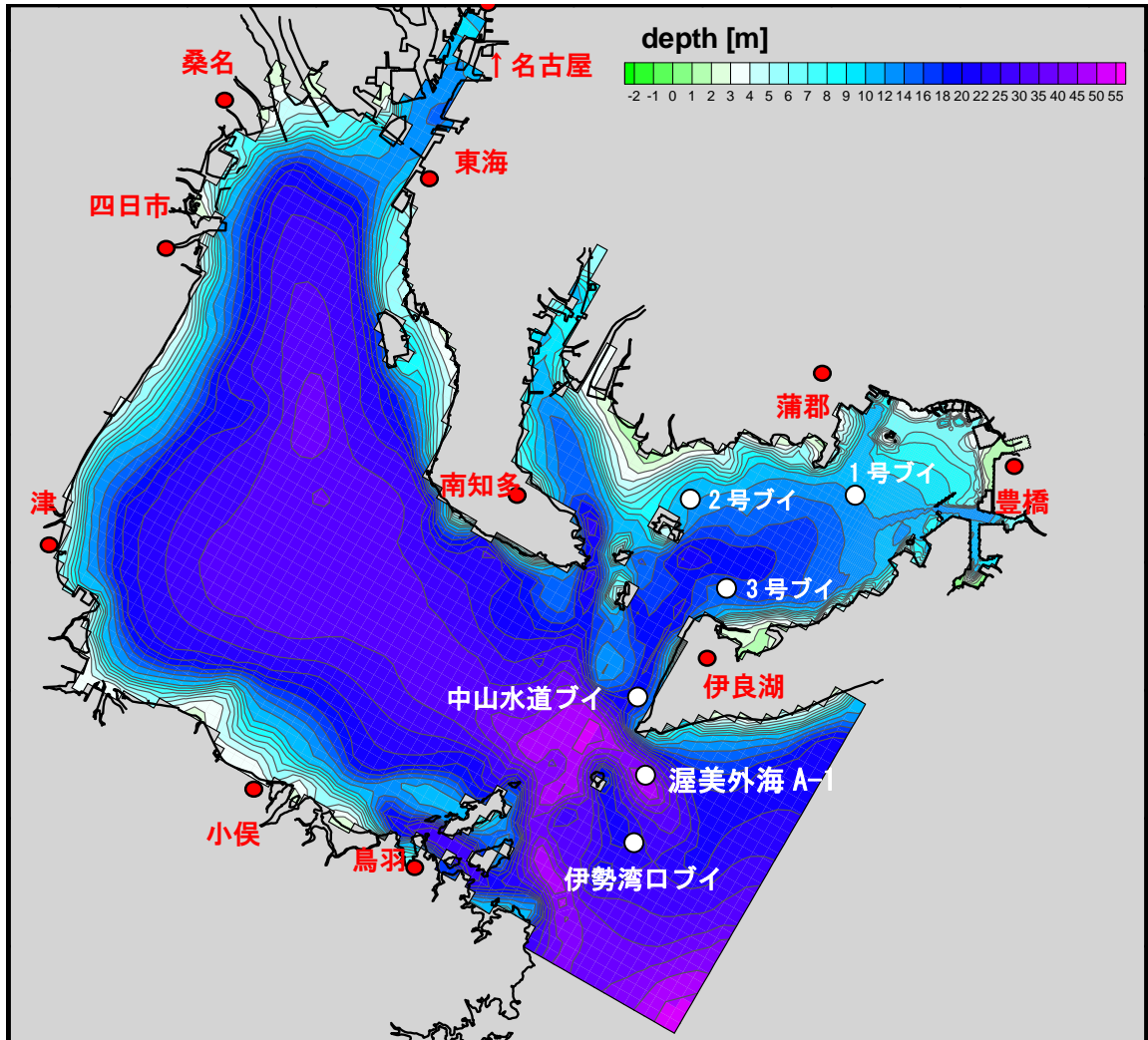


図 4.10 ブイおよび渥美外海観測点位置

出典：渥美外海観測結果（愛知県水産試験場提供）

伊勢湾環境データベースー水質定点観測リアルタイム情報配信システム（国土交通省中部地方整備局名古屋港湾空港技術調査事務所）

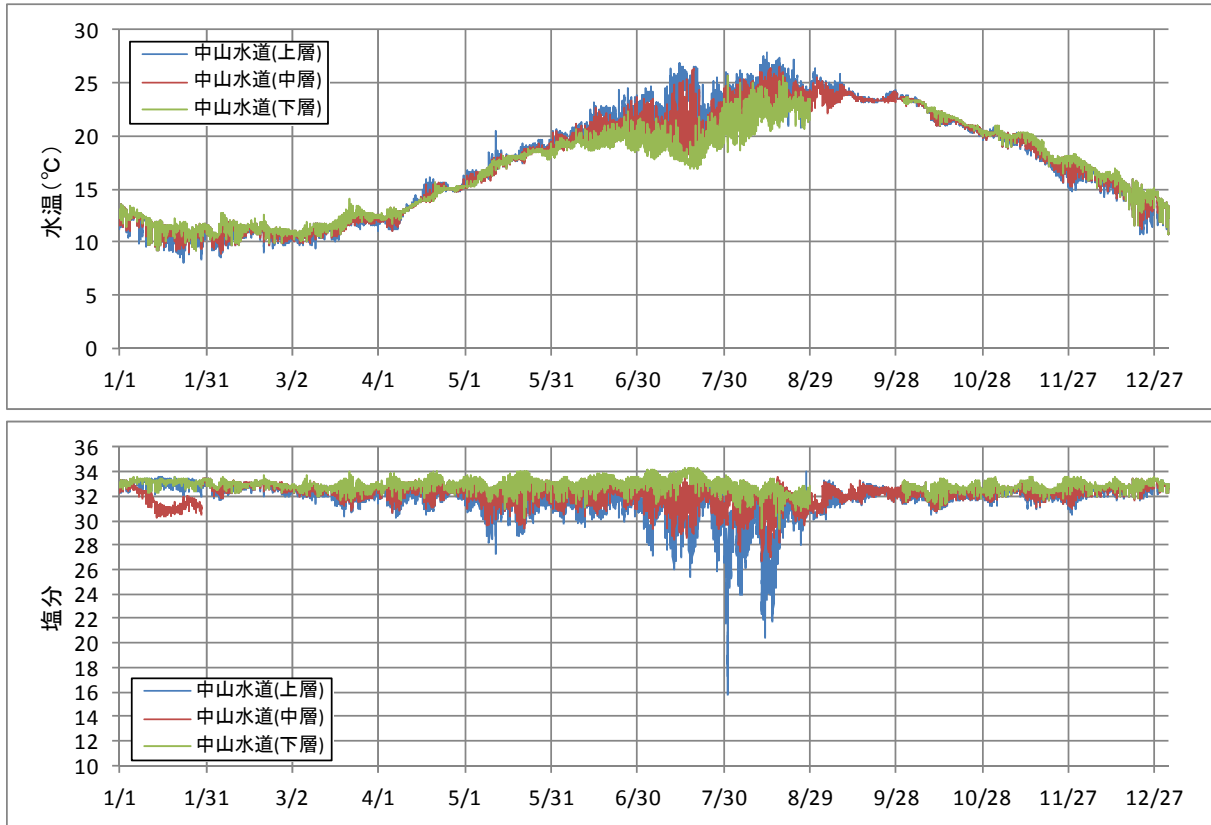


図 4.11(1) 2009 年の水質データ (中山水道ブイ)

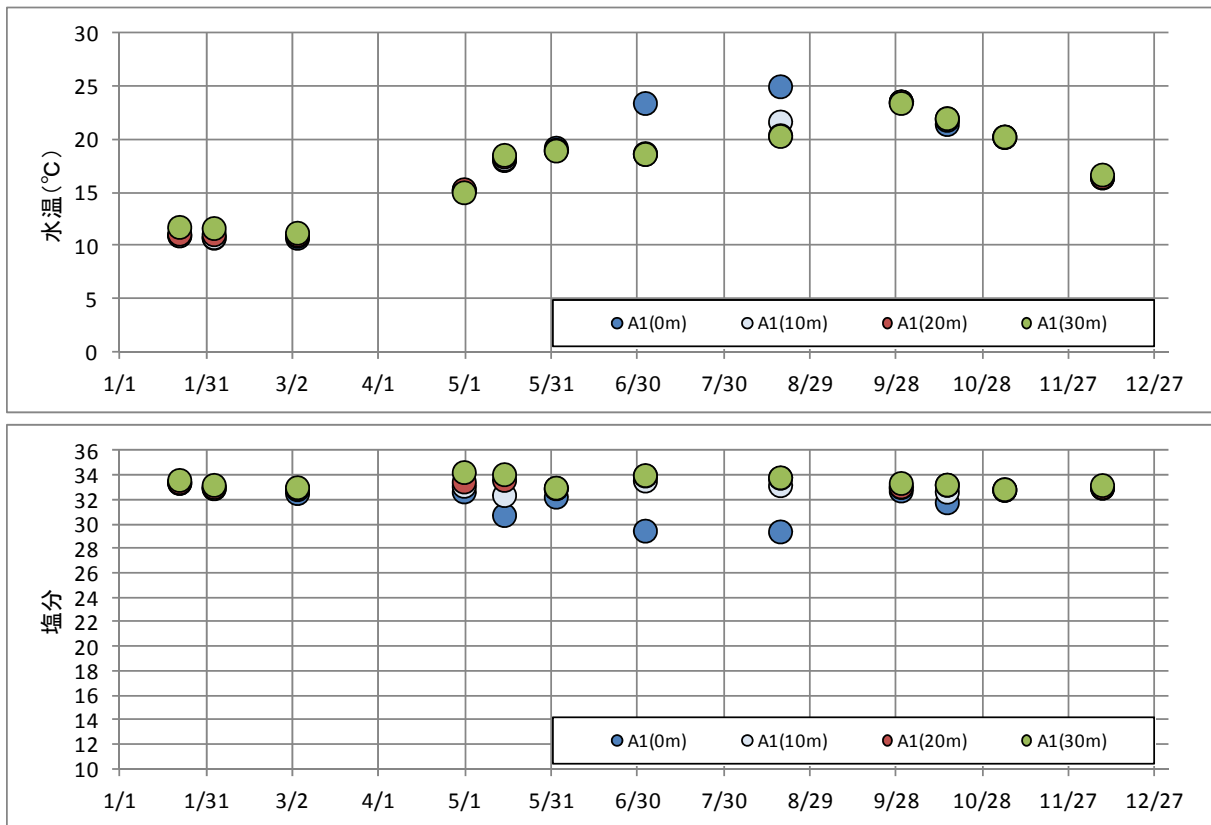


図 4.11(2) 2009 年の水質データ (渥美外海 A1)

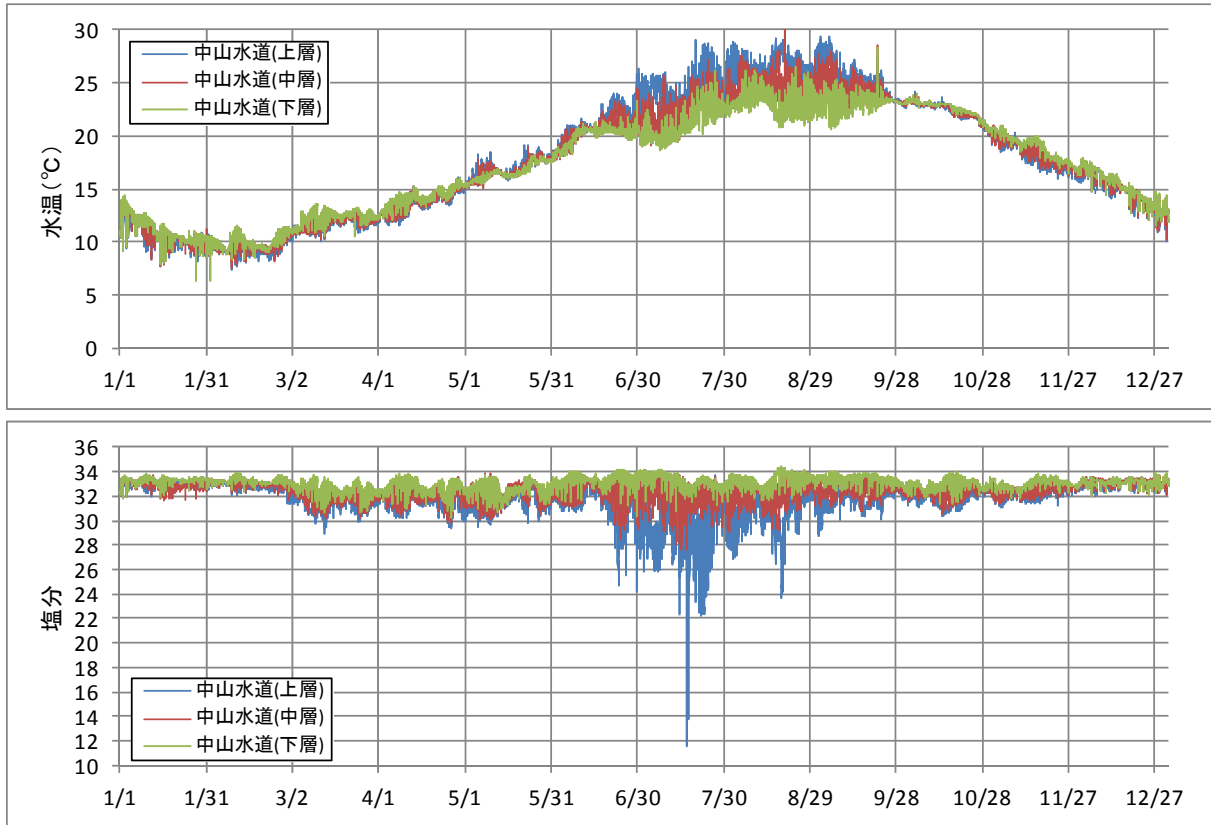


図 4.12(1) 2010 年の水質データ (中山水道ブイ)

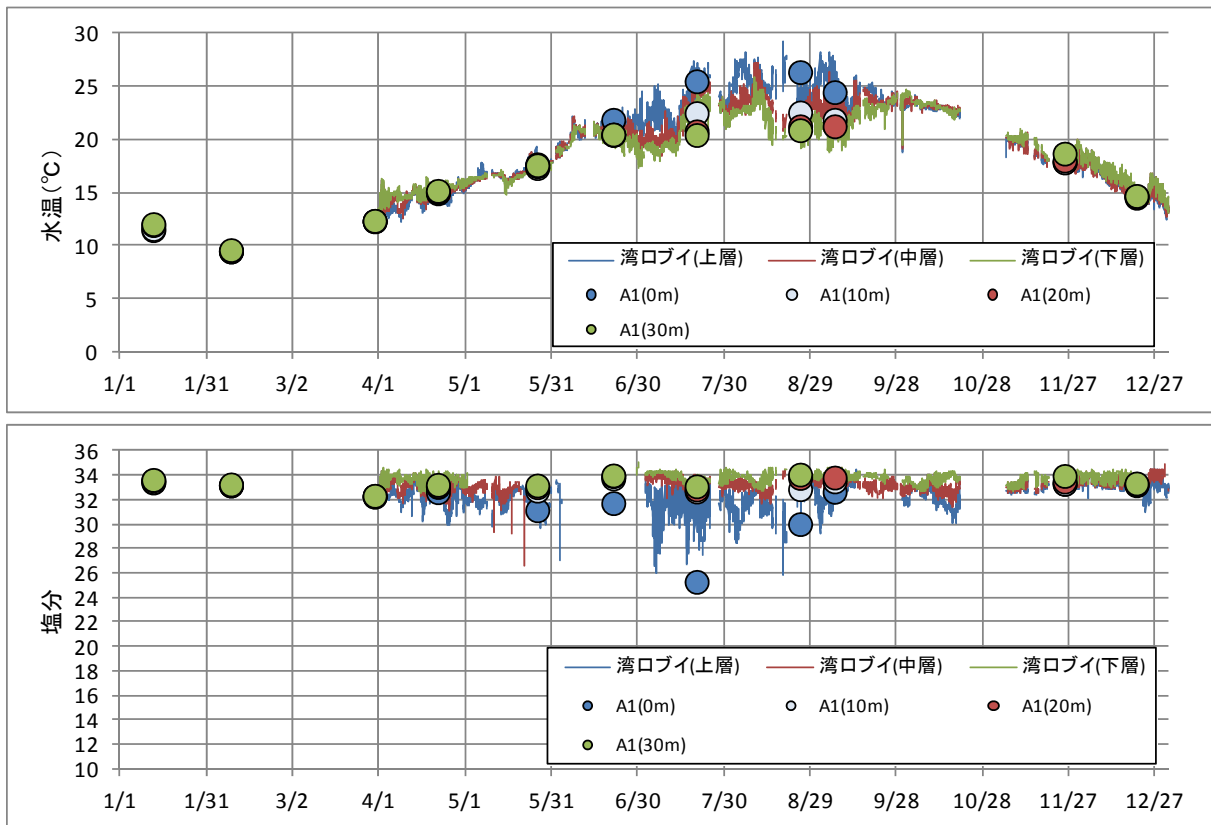


図 4.12(2) 2010 年の水質データ (伊勢湾ロブイおよび渥美外海 A1)