閉鎖性水域における環境再生の 実現に向けて - 三河湾流域をモデルにして-

国土技術政策総合研究所環境研究部長 岸田弘之

研究概要

対象フィールドとして三河湾流域圏を選定

水域生態系の視点から着目すべき物質の抽出 【窒素・リン・シリカ】とその特性把握

人為的インパクト(埋立)



流域・河川からのインパクト

・陸域から海域への窒素・リン・シリカおよび土砂の供給量の経年変化の把握



海域におけるレスポンスの把握

(水質・ハビタット・赤潮・生態系等)

インパクトレスポンス連関図の作成



三河湾の環境劣化過程を説明できる仮説【フェーズ1~4】の作成



数値シミュレーションによる仮説の各フェーズの物質循環量の把握

貧酸素水塊発生の抑制に着目した目標像の設定



水質モデルを用いた施策効果に関する感度分析

施策実行についての論点整理



モニタリング・調査手法および研究プラットフォームの検討

対象フィールドの選定

- ・流域、河川・海域のデータが豊富
- 赤潮- 貧酸素水塊-水産資源の減少等の課題が明確



研究フィールドの主対象として、三河湾流域圏(三河湾とその流域)を選定

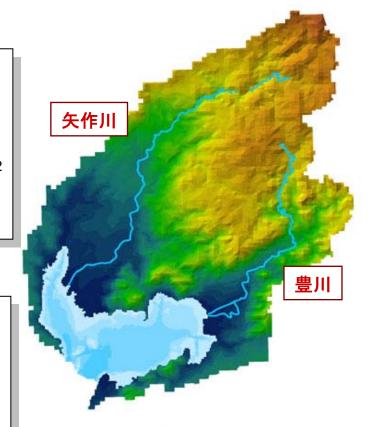
流域圏情報(陸域)

主要な河川として、豊川、矢作川がある。

- •豊川 幹川流路延長 77km 流域面積 724km² 流域人口 69万人
- •矢作川 幹川流路延長 118km 流域面積 1,830km² 流域人口 21万人
- ・豊川・矢作川の三河湾への流入量 約20億m³/年

流域圏情報(海域)

- ·水域面積 604km²
- •平均水深 9.2m
- •干潟面積 14km²
- ·浅場面積 289km²



研究実施体制

中部地方整備局 企画部 河川部河川環境課 各河川事務所

本省 河川局河川環境課

> (独) 土木研究所 河川生態チーム 天野上席研究員 水質チーム 鈴木上席研究員

国土技術政策総合研究所環境研究部

(全体総括・とりまとめ)

国土技術政策総合研究所 河川研究部 河川研究室室長 沿岸海洋研究部 海洋環境研究室室長

研究戦略 WG 京都大学環境質制御セン ター

田中宏明 教授

(独)港湾空港技術研究所 中村由行 沿岸海域領域長

愛知県水産試験場 鈴木輝明 場長

研究戦略WG開催実績

第1回:平成18年5月

第2回:平成18年10月

第3回:平成19年4月

第4回:平成19年11月

第5回:平成20年3月

※その他コアメンバー会議を開催



4

着目すべき物質の抽出

三河湾沿岸海域の環境変化の影響を強く受けると考えられる生物種の抽出

生物種	海域水質の変 化	底層貧酸素 化	ハビタットの変 化	備考
植物プランクトン	0			
底生生物		0	0	アサリ等
海草類·海藻類	0		0	アマモ・コアマ モ(干潟)
大型海藻類	0		0	アラメ・カジメ (岩礁帯)



抽出した生物が必要とする物質として、N,P,Si,Fe,Zn,Mn,Co,Niを選定し、
・形態・必要とする時期・複数の栄養塩類間の量的な最適バランスを把握

- ・枯渇、過剰により海域生態系に重要な影響を及ぼす可能性が高い
- ・情報の蓄積が豊富 といった観点より

3物質(窒素、リン、シリカ)に絞り込み

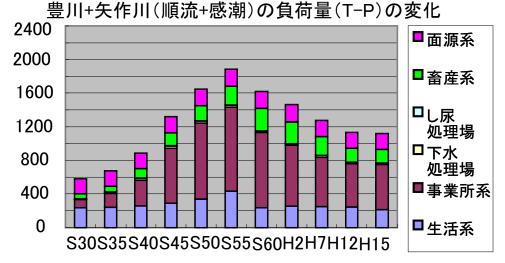
陸域から海域への窒素・リンの供給量の経年変化①

方法

- 1)原単位法による算定
- 2) 水質調査データに流量をかけて順流部の供給量を算定
- 3) 既存L-Q式を用いて算定
- ●原単位法を用いて、昭和30年代から5年ごとに、豊川・矢作川からの窒素・リンの供給量を 算定し、供給量の経年変化の傾向を把握した。 昭和55をピークとして増加し、その後は浄化対策、排出規制等により減少している。

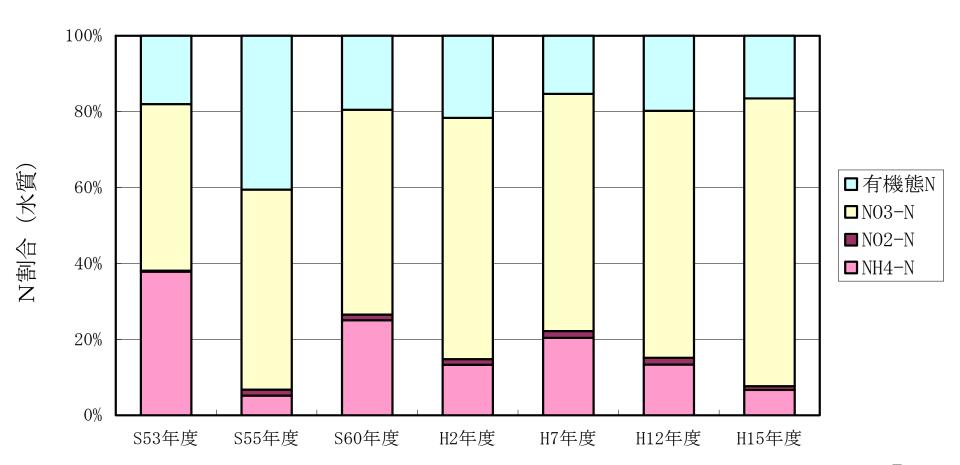
豊川+矢作川(順流+感潮)の負荷量(T-N)の変化 12000 10000 8000 4000 2000

S30S35S40S45S50S55S60H2H7H12H15



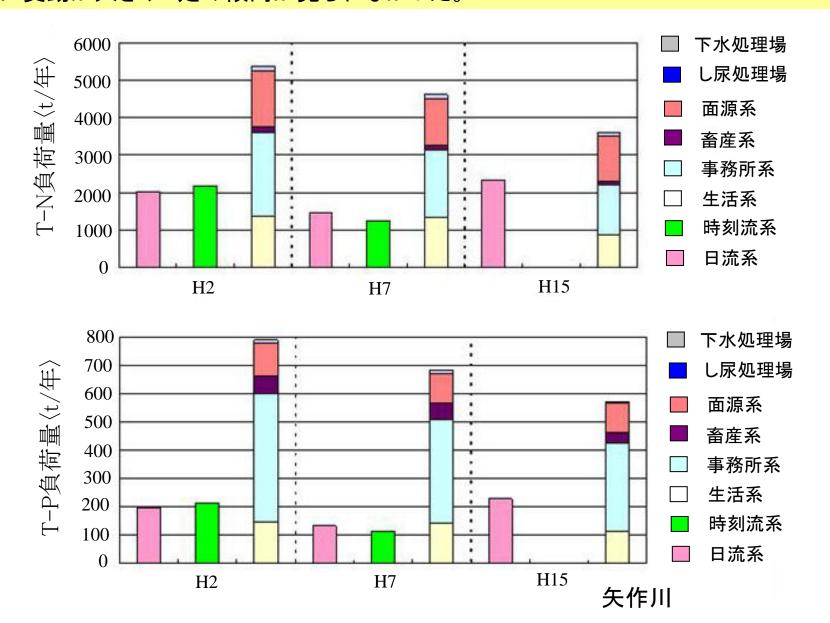
陸域から海域への窒素・リンの供給量の経年変化②

●順流末端の水質調査データから窒素の形態別供給量を算定した結果、S50年代はNH₄-N窒素が多い一方、H15年はNO₃-Nが増加しており、生活系負荷の処理形態の変化による違いが現れている。



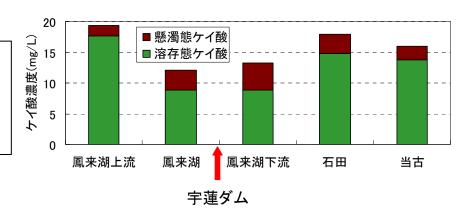
陸域から海域への窒素・リンの供給量の経年変化③

●既存L-Q式を用いた方法と原単位法による算定結果と比較した。その結果、河川ごと、項目ごとに変動が大きく一定の傾向が見られなかった。



陸域から海域へのシリカ供給量の経年変化

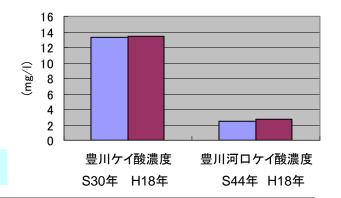
●H19(9月)調査によれば豊川のダム下流で上流に比べてケイ酸濃度が減少、懸濁態の割合が増加しているが、さらに下流ではケイ酸濃度は増加している。



●平成18年度調査によれば豊川河川内、及び沿岸海域のケイ酸濃度は過去(それぞれ昭和30年、昭和44年)と比較して大きな変化はない。



河川において経年的な濃度変化はほとんど生じていない。

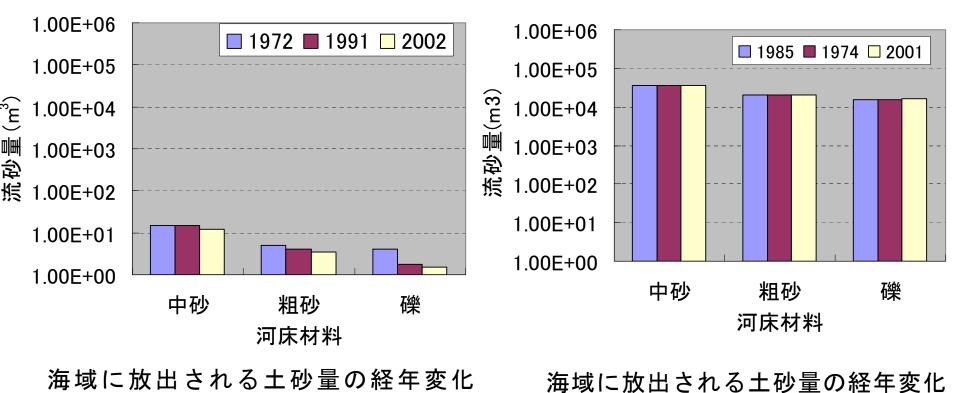


●ケイ酸濃度でみると、河口部(豊川)・三河湾では平成17年度調査において1.9~5.0mg/Lであり、シリカ欠損の可能性は低い。

海域においては、D-Si/D-N比が低下している地点が見られる。



海域に放出される土砂供給量の経年変化(矢作川・豊川)



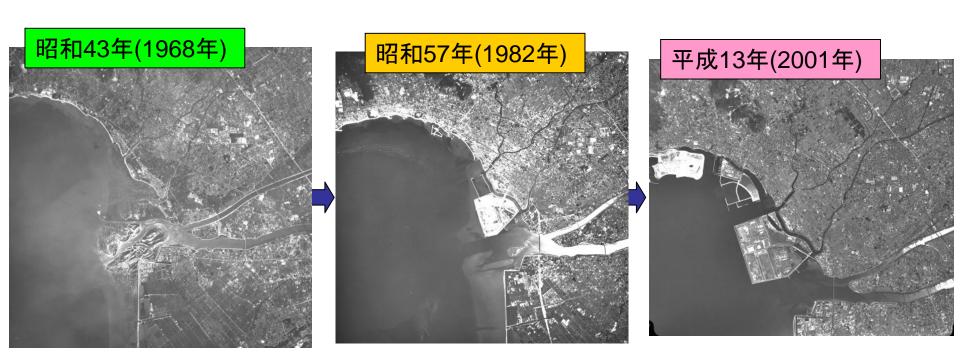
(豊川)

(矢作川)

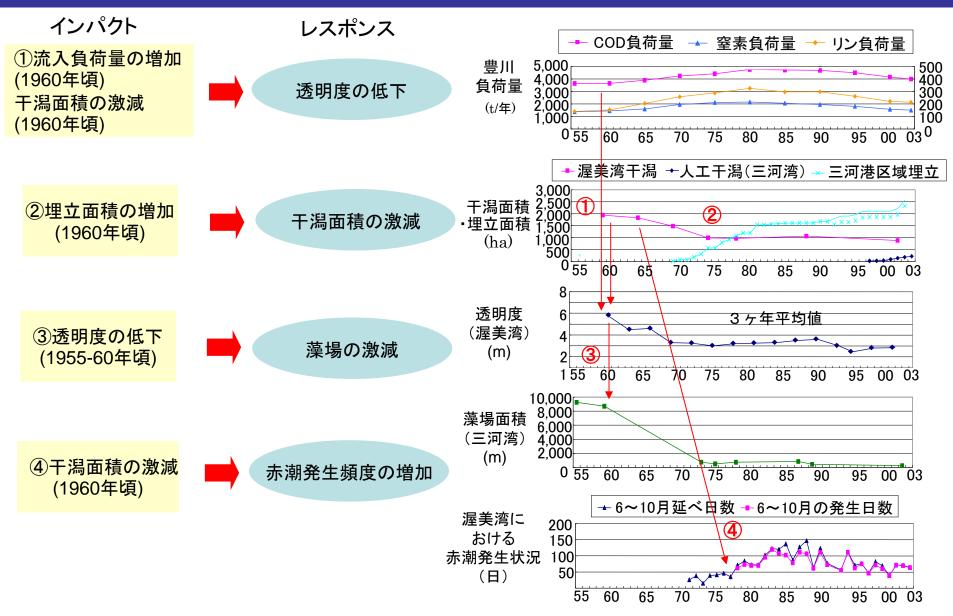
10

海域における直接的な人為的改変

●埋立による豊川河口の変遷



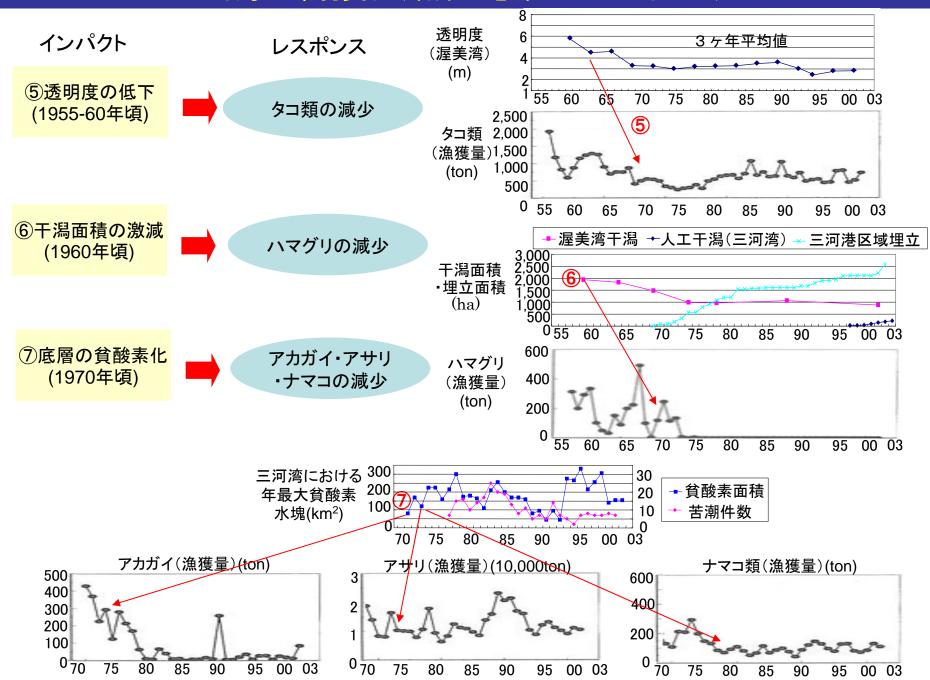
三河湾の環境変化(水質・ハビタット・赤潮発生)



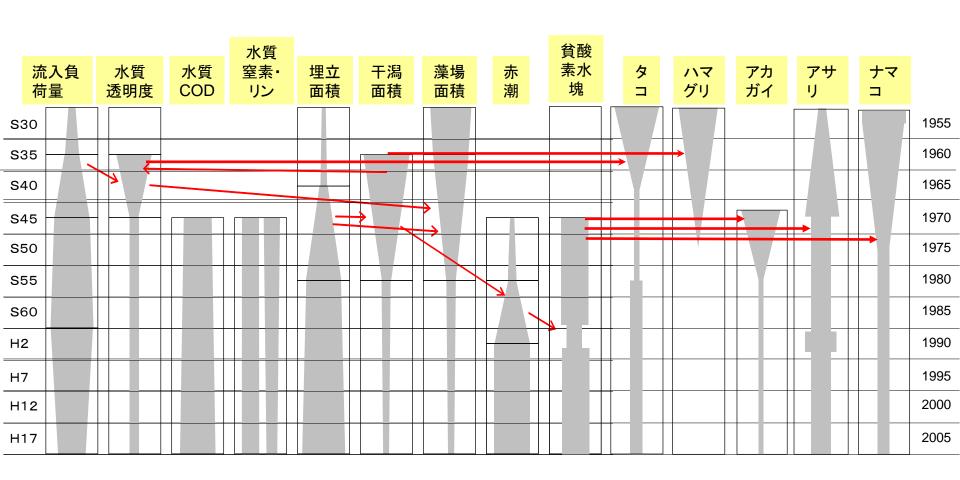
赤潮の発生(1970年代、渥美湾奥)



三河湾の環境変化(沿岸生態系へのレスポンス)

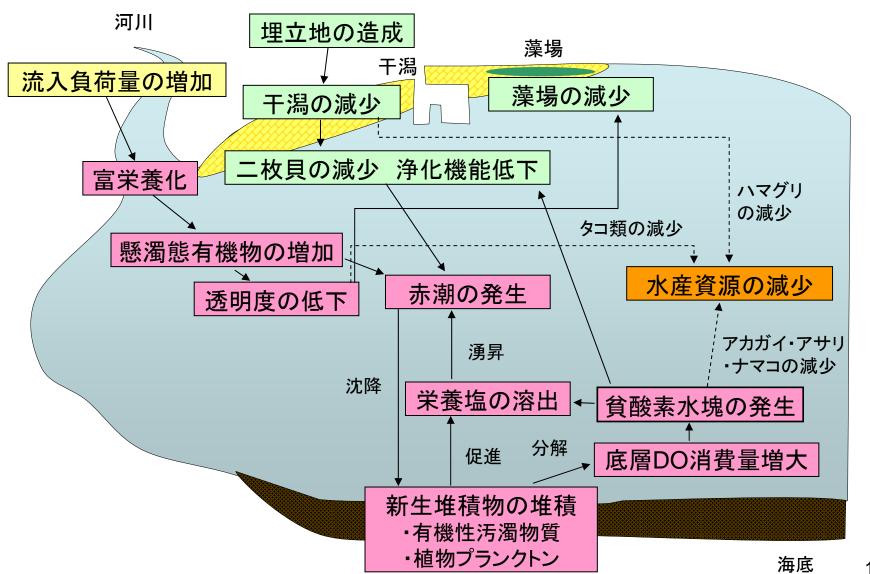


三河湾の環境変化と項目間の関係



※上記のグラフ作成にあたっては、人為的な乱獲による直接的な影響をヒアリング等で把握し、考慮している。 15

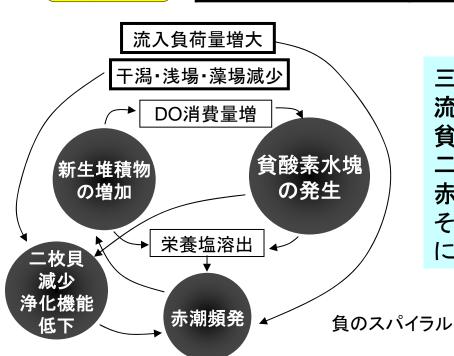
インパクトーレスポンス連関図



三河湾の環境劣化過程を説明する仮説【フェーズ1~4】の提示

フェーズ1 ~1965年 フェーズ2 1965年~ 1970年 フェーズ3 1970年~ 1975年 フェーズ4 1975年~ 現況

流入負荷	干潟•浅場•藻場面積	赤潮・貧酸素水塊の発生
少ない	広い	少ない
増加	やや減少	少ない
最大	埋立・浚渫等により大 幅に減少	顕在化
減少	少ない状態を維持	顕在化を継続



三河湾は、

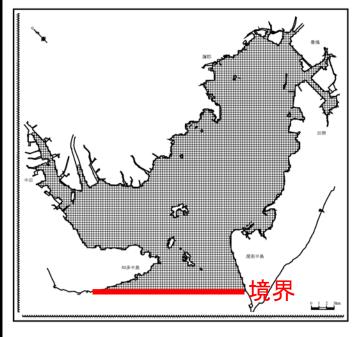
流入負荷増大、干潟・浅場・藻場の減少により、 貧酸素水塊の発生が顕在化し、

二枚貝の減少、干潟・浅場の浄化機能の低下、 赤潮の発生、

そして貧酸素の助長といった*負のスパイラル*に陥っている。

水質モデルの構造と概要(流動計算の条件)

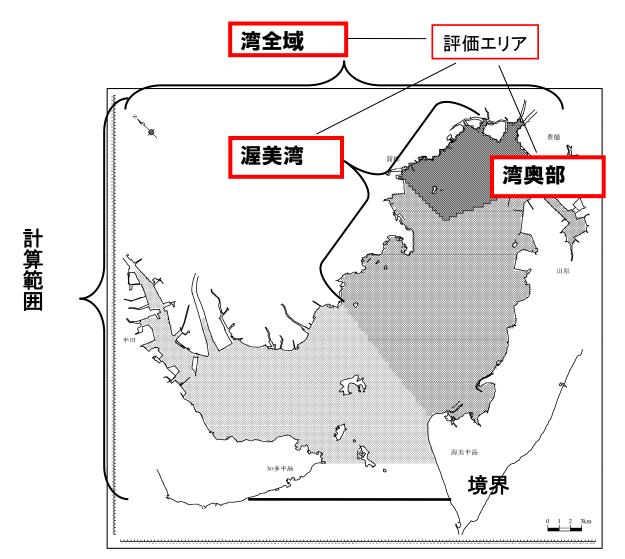
	小貝にアルの神道に腕女(加封印		
流動計算+加	〈質計算		
計算範囲	三河湾全域		
計算格子	300m		
鉛直層分割	最大3層(上層0~5m,中層5~10m,		
	下層10m~)		
流動計算			
タイムステッ プ	5.0秒		
対象季節	夏季・冬季(計算開始から150日目)		
淡水流入量	各年代の夏季・冬季平均流量		
外海との	M2分潮の振幅(53.0cm)		
境界条件			
水温•塩分	公共用水域水質測定結果を用いた。		
の初期値、	境界値は、境界に近い地点の調査		
境界条件 	地点より設定		
諸係数	既往計算事例より渦動粘性係数、渦 拡散係数、摩擦係数を設定		



計算領域とメッシュ

物質循環の評価エリア

三河湾の地形・水質・流動等を考慮して、 <u>湾全域・渥美湾・湾奥部の3エリアを設定し、エリア別に物質循環を評価</u>



水質モデルの構造と概要(水質計算の条件)

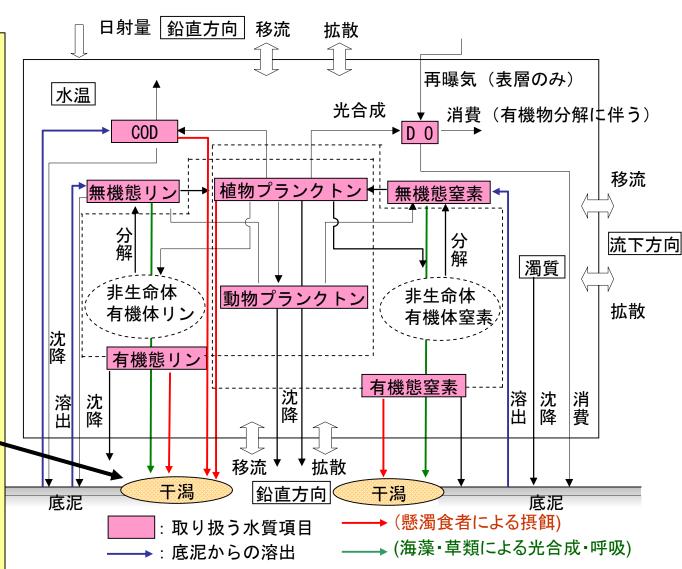
考慮する浄化機能

干潟・浅場域における

- 「有機物の沈降(シンク)」
- •「アサリによる有機物の吸収(シンク)」
- ・「アサリの尿(無機物)による負荷(ソース)」
- 「底泥からの無機態の溶出 (ソース)」
- ・「海藻・海草・付着藻類による無機物の吸収(シンク)」

の現象を考慮

アサリ等の現存量と水質の バランスにより、シンクか ソースか、もしくは有機物を 無機物に変換するポンプと してだけの機能を果たすの かが決定



数値シミュレーションによる仮説の各フェーズの物質循環量の把握①

フェーズ1 ~1965年 フェーズ2 1965年~ 1970年 フェーズ3 1970年~ 1975年 フェーズ4 1975年~ 現況

流入負荷	干潟·浅場·藻場面積	赤潮・貧酸素水塊の発生
少ない	広い	少ない
増加	やや減少	少ない
最大	埋立・浚渫等により 大幅に減少	顕在化
減少	少ない状態を維持	顕在化を継続

DO消費増大の主な要因は、有機物が分解される際の酸素消費であり、貧酸素水塊の増加は、底泥の有機堆積物(新生堆積物)の増加に直接的に関係している。



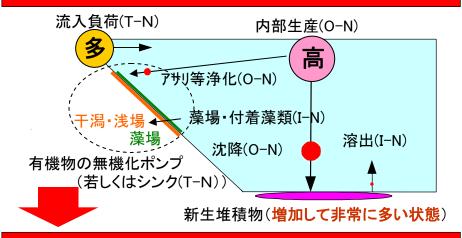
評価軸として 新生堆積物の主要因であるO-N沈降量及び内部生産量を用いた。

※平均海面下5m以深(干潟・浅場以外の海域)へ沈降する 『悪い沈降』を対象

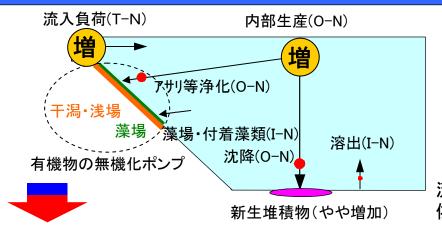
数値シミュレーションによる仮説の各フェーズの物質循環量の把握②

※貧酸素水塊が大規模発生している渥美湾・夏季を対象

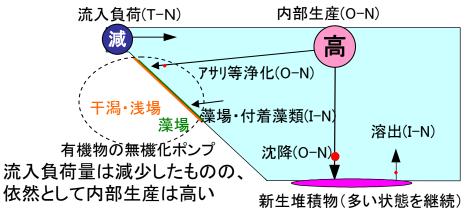
フェーズ3(昭和50年代): 貧酸素水塊が顕在化



フェーズ2相当(S30年代の干潟・浅場、S50年代の負荷量・藻場)



フェーズ4(現在):貧酸素水塊が顕在化が継続



フェーズ2から3に移ることで、新生堆積物は顕著に増加しており、先に述べた仮説を裏付ける結果が得られている。

DO消費増大の主な要因は、新生堆積物が分解される際の酸素消費であり、貧酸素水塊の増加は、新生堆積物の増加に直接的に関係している。

貧酸素水塊の抑制に着目した目標像の設定

- 〇三河湾の生態系に影響を及ぼしている主要因は、「貧酸素水塊の発生」に集約できる。
- →貧酸素水塊の発生に着目することで、複雑な現象に対する包括的な検討が可能になる。
- →漁獲量に直接影響するため、施策効果が見えやすい。

三河湾再生の目標像

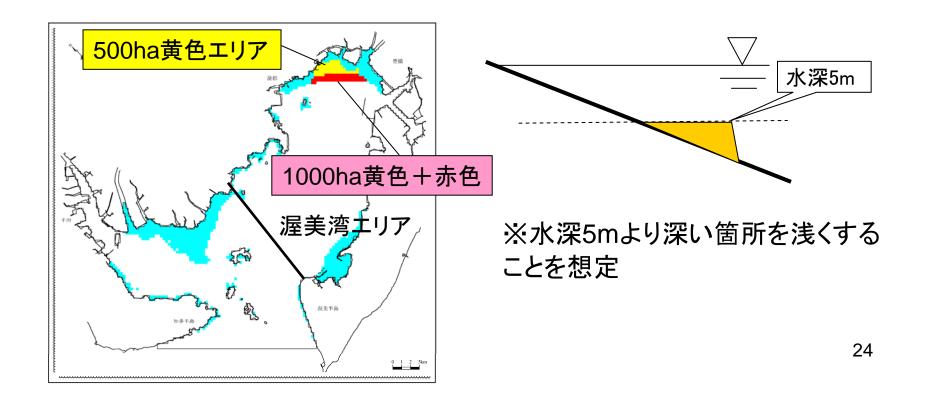
「三河湾ブランドの確立・流域の人々がその豊かさを誇り、持続的に享受できる海」

「豊かで貧酸素が健全化しない海」多種・多様・多量な生物の確保 DOの確保(最低2mg/I)を目標(生態系保全目標) 正のスパイラル効果 流入負荷量削減 流入負荷量増大 負のスパイラル 干潟•浅場造成 干潟・浅場・藻場減少 から DO消費量減 DO消費量增 正のスパイラルへ 貧酸素化 貧酸素水塊 新生堆積物 新生堆積物 の低減 の減少 の増加 の発生 栄養塩溶出 栄養塩溶出 減少 二枚貝 二枚貝 増加 減少 23 浄化機能 浄化機能 赤潮減少 赤潮頻発 改善

水質モデルを用いた施策効果に関する感度分析

施策メニュー

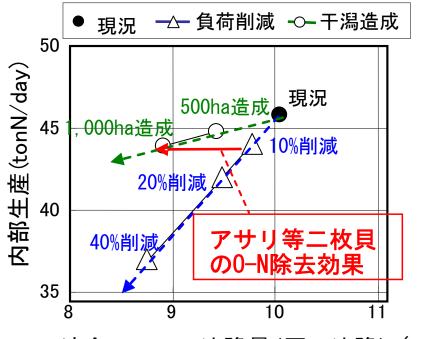
- 1)流入負荷削減・・・栄養塩の供給量を減らす 削減量 10%,20%,40%
- 2) 干潟・浅場の造成・・・高次の生物量を増加させることによって消費を増やす 造成面積 500ha,1000ha



内部生産量とO-N沈降量の関係

評価軸として 新生堆積物の主要因であるO-N沈降量及び内部生産量を用いた。

> ※平均海面下5m以深(干潟・浅場以外の海域)へ沈降する 『悪い沈降』を対象



1)流入負荷削減

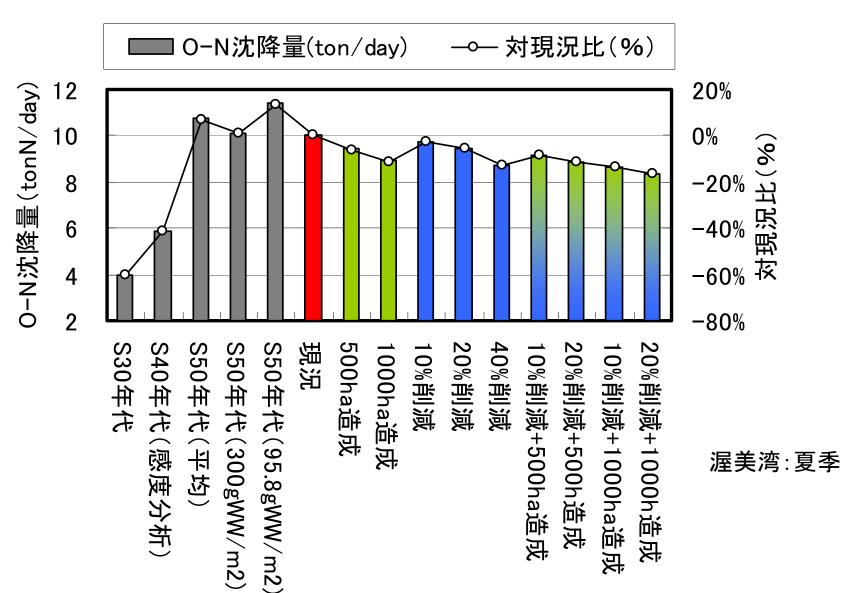
- ・内部生産を制限すること によりO-N沈降量(悪い沈降) を減少させる
- 2)干潟·浅場造成
- ・アサリ等二枚貝が有機物 を除去することによりO-N沈 降量(悪い沈降)を減少させ day) る

沖合へのO-N沈降量(悪い沈降)(tonN/day)

◆─────貧酸素化の低減

渥美湾:夏季

O-N沈降量の経年変化と施策効果



推進すべき方策の方向性①

環境再生に向けた施策

1)流入負荷削減

効果・・・内部生産を制限することにより「悪い沈降」を減少

2)干潟·浅場造成

効果・・・生産された有機物をアサリ等二枚貝が除去すること によって「悪い沈降」を除去



各施策は性質が異なる効果を持つ

推進すべき方策の方向性②

一次生産に見合う量を上回る栄養塩類の供給

流入負荷削減が中心 ※今後も依然として重要



さらに豊かな環境を目指すためには、一定の 栄養塩の供給は必要という見方

両者の施策の効果による相乗効果を最大限に発揮できるように、バランス良く進めることが重要

●発現時期・場所・内容等を加味した、実施の時間的タイミングも重要

推進すべき方策の方向性③

施策検討枠組みの提案

評価基準としての
貧酸素水塊

- →複雑な現象に対する包括的な検討が可能
- →漁獲量に直接影響するため、施策効果が見えやすい

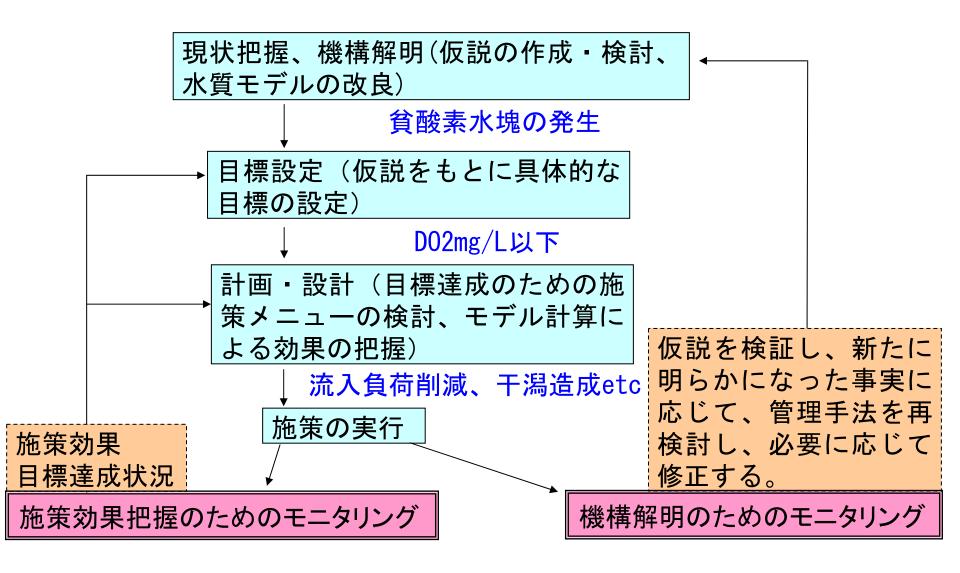
性質、フィールド等が異なる様々な施策を同じ土俵で具体的かつ 統合的に議論することが可能

モニタリングの実施・評価

- 機構のもつ不確実性をより確かなものに
- 具体的な施策の方向性を明確にしていくために

機構解明及び施策効果把握のための、モニタリングの実施と評価

物質循環管理に向けた順応的管理



モニタリング(施策効果把握のためのモニタリング)

●最終目標となる貧酸素水塊発生の抑制の主要因である底層DO濃度の向上やそれに伴う

生物生息量の増大に関するモニタリングと、その手前の事象として新生堆積物の減少・赤潮発生を重要項目として取り上げ、既存調査の活用を念頭に置きながら、再編・整理した。				
区分		モニタリング指標	想定アウトプット	方法•頻度等
施	河川水質	河川水質(平水時)	河川水質の向上	定期採水調査(月一回平、水時)
施策効果の把握		順流末端の流入負荷量	流入負荷量の減少	多波長の光計測装置による測定 設置型(毎時)
	干潟•浅場生物	底生生物の現存量	生物の多様性の向上	項目は種類数・個体数・湿重量

生物の多様性の向上

浄化機能の向上

浄化機能の向上

海域水質の向上

親水性の向上

赤潮発生の低減

懸濁熊有機物の現象

新生堆積物量の減少

底層DO濃度の向上

貧酸素水塊面積の減少

生物の多様性の向上

生物多様性の向上

項目は種類数・個体数・湿重量 採泥分析(年2回以上春季、夏季)

(年1回以上春季、夏季)

月1回以上の観測

様々な通報情報を利用

測(春季・夏季)の実施

採取計測(月1回以上、春季)

定期採水調査(月1回平常時)

自動トラップ・回収機器の開発による連続観

水温、塩分、濁度、DO 連続観測(毎時)

//

"

懸濁熊有機物

赤潮発生状況

高次生物

新生堆積物沈降量

貧酸素水塊発生状況

全体効果の把握

二枚貝の現存量

藻場の面積・密度

透明度

潮構成種

底層DO濃度

海域栄養塩(平常時)

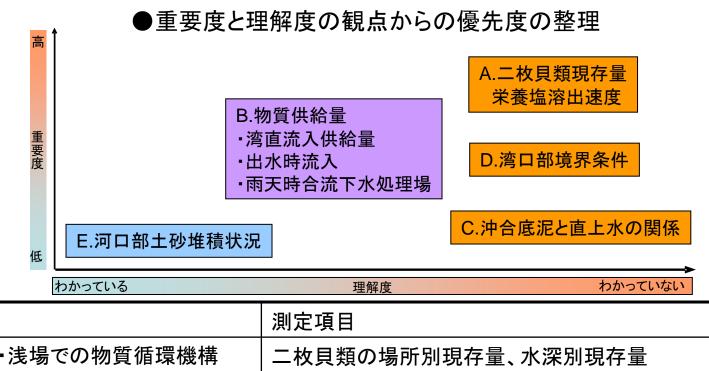
赤潮発生海域、赤潮発生日数、赤

沖合の新生堆積物沈降量

魚類等の生息種、生息量

沖合の底生生物の生息種、生息量

モニタリング(機構解明のためのモニタリング)



	医.河口部出	上砂堆積状況		C.沖合底泥と直上水の関係 ➤	
	わかっている		理解度	わかっていない	
区分		浿	定項目		
機構解明のための調査	A.干潟・浅場での物質循環機構		- 枚貝類の場所別現	見存量、水深別現存量	
			干潟、浅場の底泥からの形態別栄養塩溶出速度		
	B.流域・河川からの物質供給量		出水時における河川	 からの供給量	
			雪直流入供給量(有標)供給)	機・無機の比率、豊川用水の	(還元水)から
		雨	丙天時の下水処理場	計から越流による供給	
	C.沖合いでの底泥と直上水の関係		野出速度の精度向上 速度、酸素消費速度	:および出水や赤潮に伴う原 の変化	医泥からの溶出
	D.湾口部における境界条	:件	質口部における流出	入水量、水質	
	E.河口部での土砂堆積状	沅 河		 :、堆積土砂の性状	

研究プラットフォームの構成

科学技術振興調整費 重点課題解決型研究

伊勢湾流域圏の 自然共生型環境 管理技術開発

(H18~22) 名古屋大学 土木研究所 農村工学研究所 水産総合研究センター 国立環境研究所 等

学識者等 機構解明. モニタリング・予測手法. 科学技術的診断 · 判断

国総研 環境研究部 関係研究部 技術政策面での統括・とりまとめ 特に, 施策体系化(目標設定), 施策評価手法, モニタリング戦略

本省関係部局

「生態系サービス」

からの施策総合評価

「流域住民が効果

を実感できる」

施策体系の構築

環境制御の主対象:

貧酸素水塊の抑制を通じた 正のスパイラルの駆動

→そのための適切な物質動態管理

全体的アウトプット

広域環境管理・復元の目標設定,指標設定/・施策検討上の重要事象 の予測精度向上╱·施策群策定の枠組み<mark>提示╱·施</mark>策評価手法の確立 ・総合的な環境診断,施策評価(全体,個別)/・戦略的なモニタリング 法の提示/・PDCAのコントロール/・施策効果の科学的・技術的説明

伊勢湾再生 推進会議

流域圈住民, NPO. 企業等 行政組織(中部地方整備局・関係事務所, 愛知県関係部局)

- ■施策実施(含:実証実験)
- ■施策効果把握のためのモニタリング
 - ■機構解明のためのモニタリング

従前の取り組み

新しい取り組み