資料4

（1970～1980）
赤潮の多発・
貧酸素化の進行

（原因）

①干潟・浅場の喪失

→場の保全・再生（水産振興事業、伊勢湾再生計画）（体力増強方式）

②流入負荷の増大

→COD規制→COD＋TN,TP規制（内部生産抑制）→類型指定（漁場はⅡ類型）

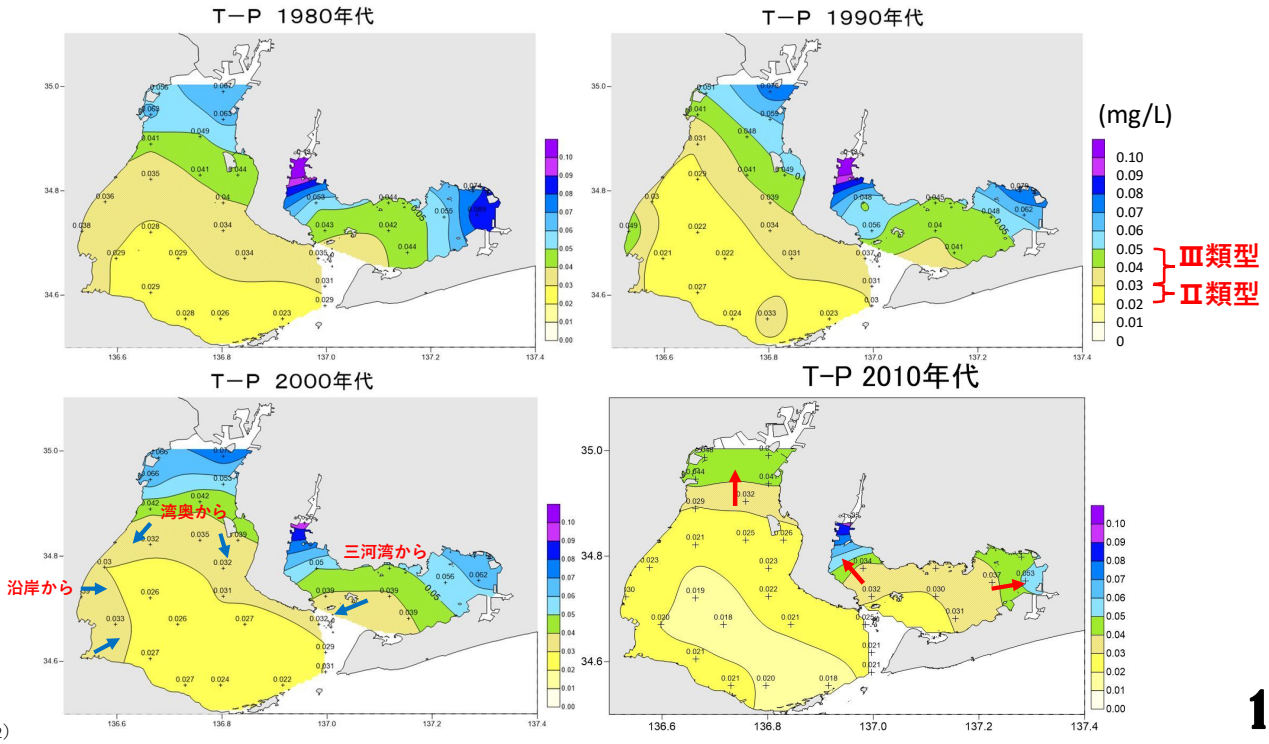
→水質総量削減計画の推進（食事制限方式）

＊COD:化学的酸素要求量
海水中の有機物量の指標
＊TN:総窒素、TP:総リン
海水中の内部生産COD抑制のための指標

流入負荷削減のみ進行（現在第9次）、場の保全・再生は遅延

➢TN,TPの濃度は低下し、環境基準は達成されるもCODの環境基準が達成できないため、さらなるTN,TPの削減が継続（TN,TPの削減はCODの低下につながらず、逆に上昇する！）

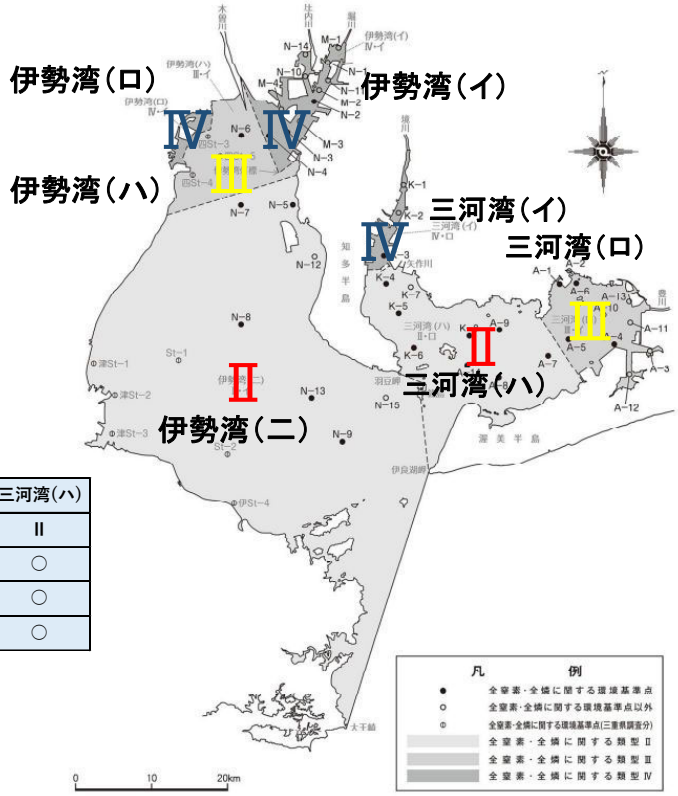
リン濃度の水平分布



（青山ら、2022）

全リンの環境基準類型と達成状況（すべて達成！）

＊主漁場はほとんどⅡ類型

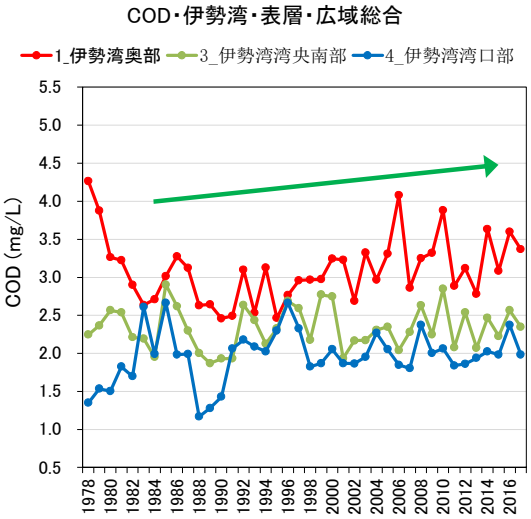


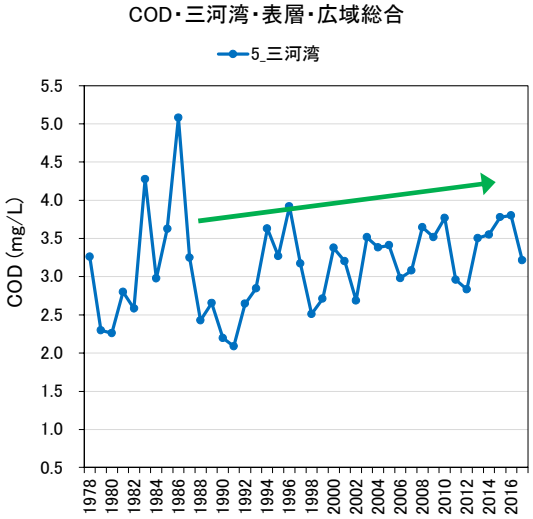
全リンの環境基準達成状況（愛知県）

	水域名		伊勢湾(イ)	伊勢湾(ハ)	伊勢湾(ニ)	三河湾(イ)	三河湾(ロ)	三河湾(ハ)
	類型		Ⅳ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅳ	Ⅲ	Ⅱ
全燐	達成状況	2018	○	○	○	○	○	○
		2019	○	○	○	○	○	○
		2020	○	○	○	○	○	○

（公共用水域水質調査結果）

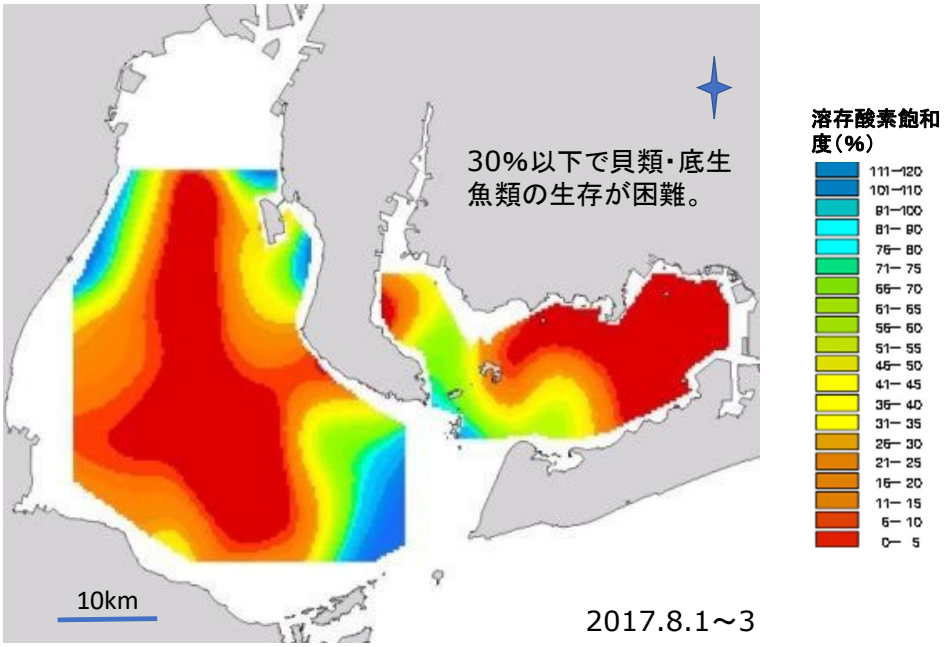
CODは上昇傾向！依然環境基準を達成せず（←難分解性有機物の増大）





TN、TP が下がると，微生物活性が低下し有機物（特に溶存態）が難分解化するため、未分解の有機物が蓄積し，有機物濃度（COD）が上昇する.

夏季に伊勢湾・三河湾の底層に発生する貧酸素水塊

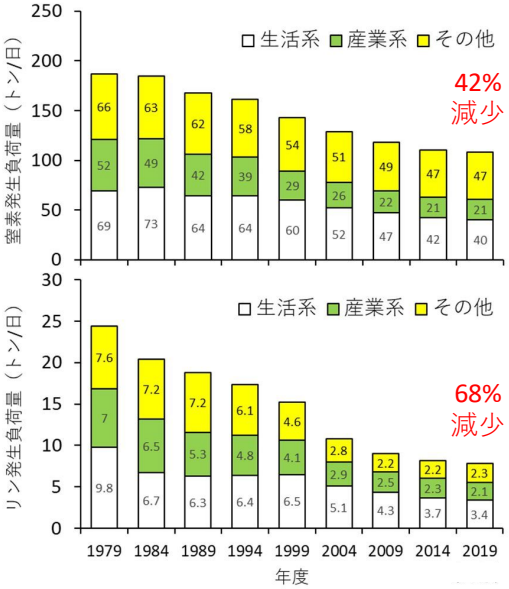


（愛知県水産試験場）

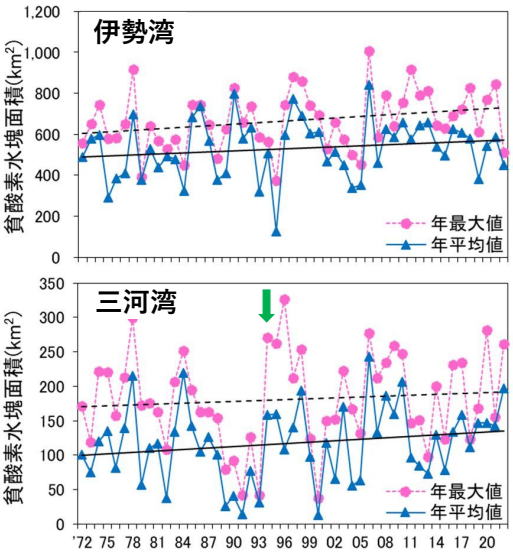
負荷量減少にもかかわらず底層DOも悪化

＊流入負荷が減少しても貧酸素化は改善されていない！場の修復の遅延

伊勢・三河湾における発生負荷量の推移
出典：環境省「発生負荷量管理等調査」



伊勢湾および三河湾における貧酸素水塊（DO飽和度30%以下）面積の推移

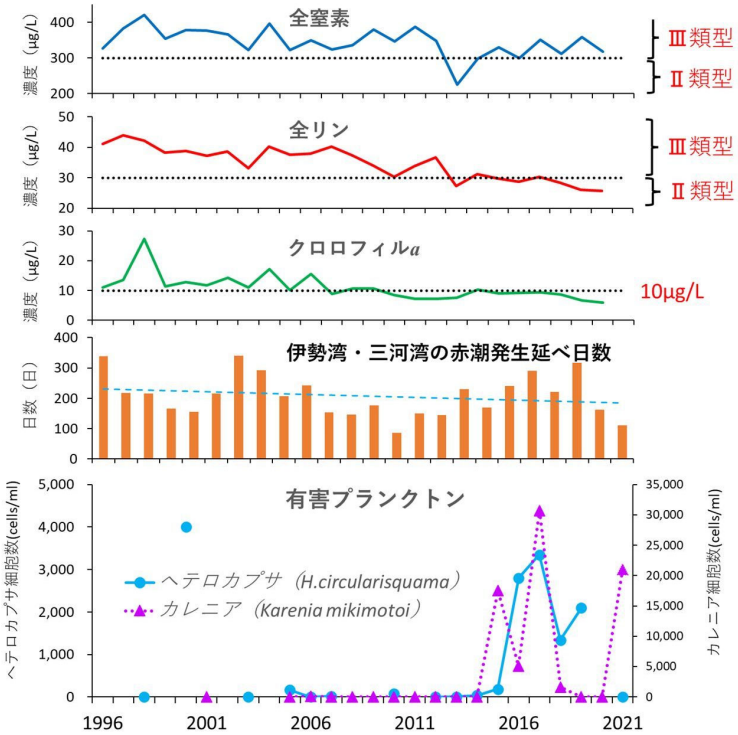


（蒲原、2023）

赤潮発生延べ日数は微減、有毒プランクトン細胞数は増加！

ﾍﾃﾛｶﾌﾟｻ ｻｰｷｭﾗﾘｽｶｰﾏ

貝類をへい死させる。



ｶﾚﾆｱﾐｷﾓﾄｲ

魚介類をへい死させる。

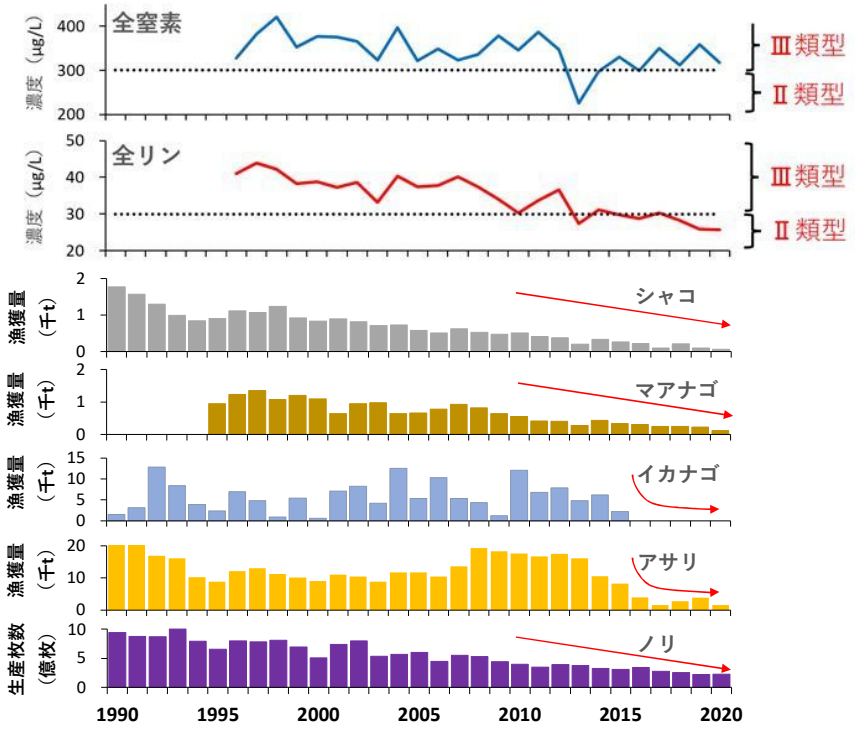
（蒲原、2023）

第9次にもわたる水質総量削減にもかかわらず、COD、貧酸素化、赤潮は改善せず、TN,TPだけが減少する「貧栄養化」が進行

➢TN,TP環境基準（Ⅱ類型）達成の頃（2010年代半ば）から漁業生産の顕著な低下！（食事制限方式のやりすぎによる副作用の顕在化）

愛知県Ⅱ類型海域のTN,TPの年平均濃度と愛知県の主要漁獲物の推移

・Ⅱ類型の環境基準を達成する2010年頃から底生魚類やノリの生産量が低下
・2014年以降アサリ、イカナゴが急減（何故アサリとイカナゴが同期しているのか？）

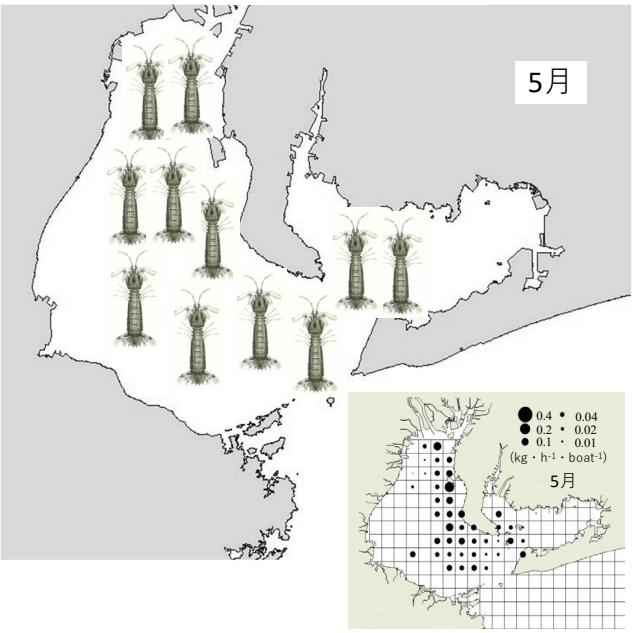


南知多豊浜漁港の水揚げ風景の変化

2010年　豊浜市場 → 2020年　豊浜市場

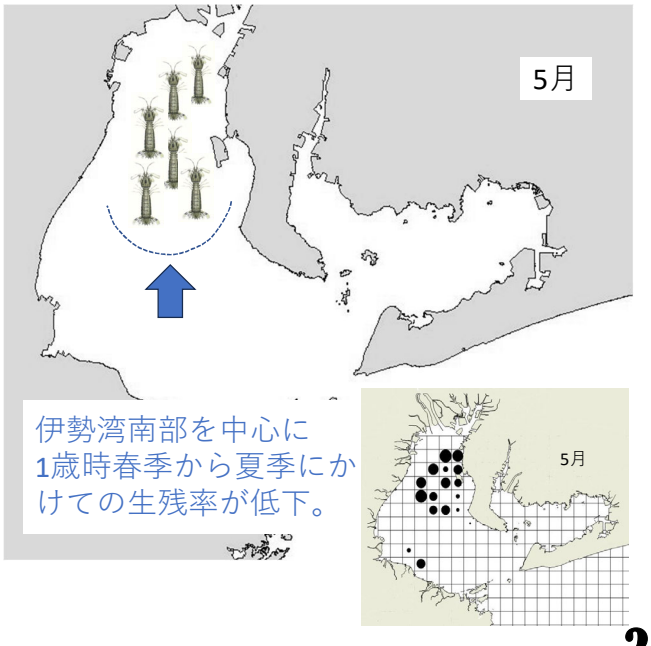
小型底びき網漁業によるシャコ漁場の変化

2002-2004年



月別漁場別CPUEの3年間平均値

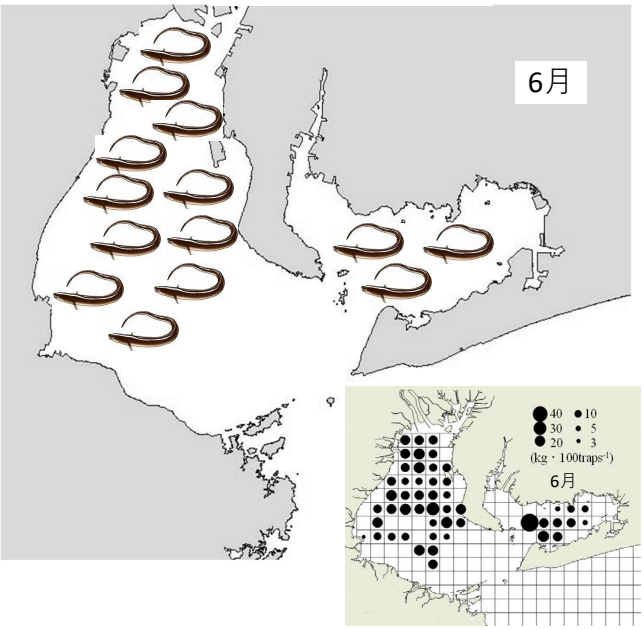
2018-2020年



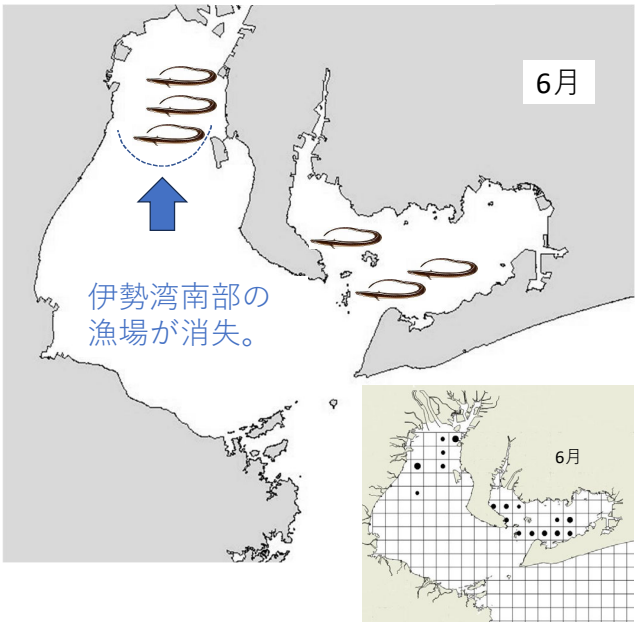
（曽根ら、2022改）

アナゴ篭漁業によるアナゴ漁場の変化

2002-2004年

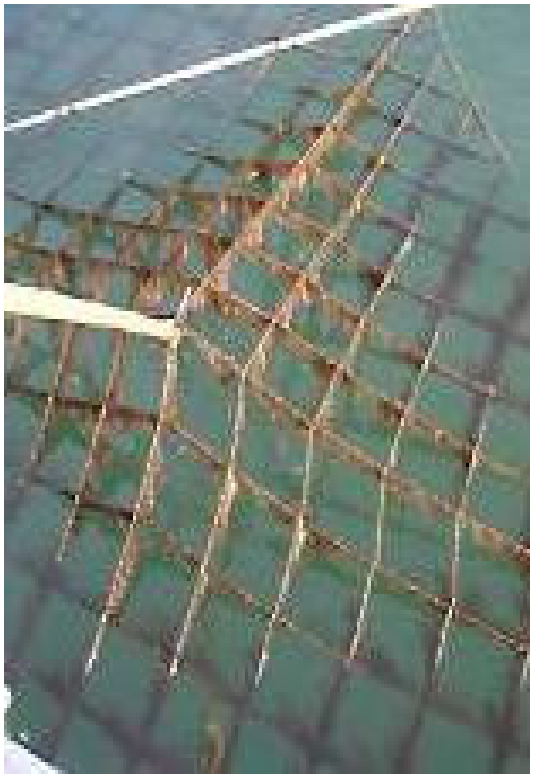


2018-2020年



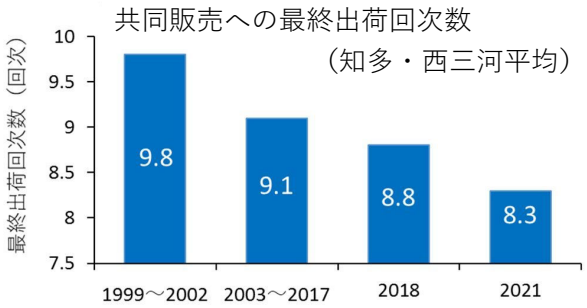
月別漁場別CPUEの3年間平均値

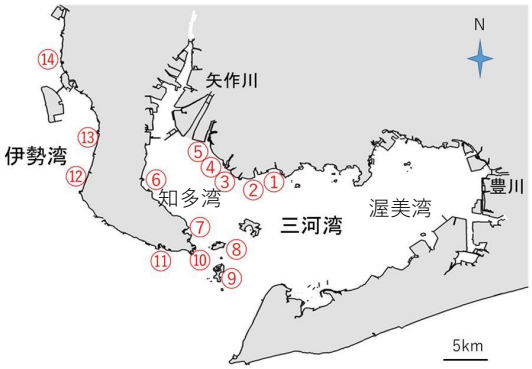
（曽根ら、2022改）



栄養塩濃度低下のノリへの影響

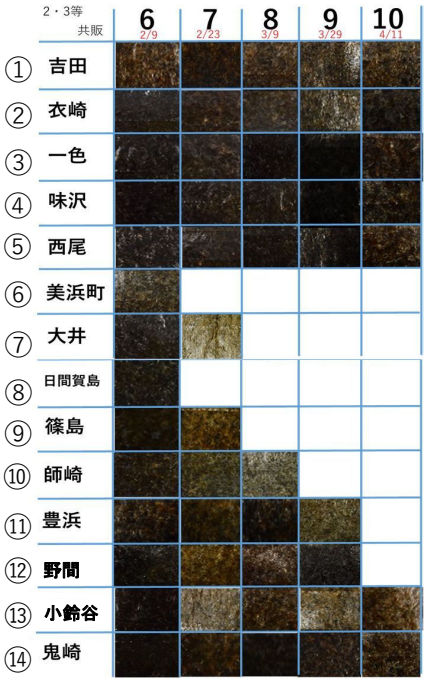
色落ちによる養殖期間の早期終了。



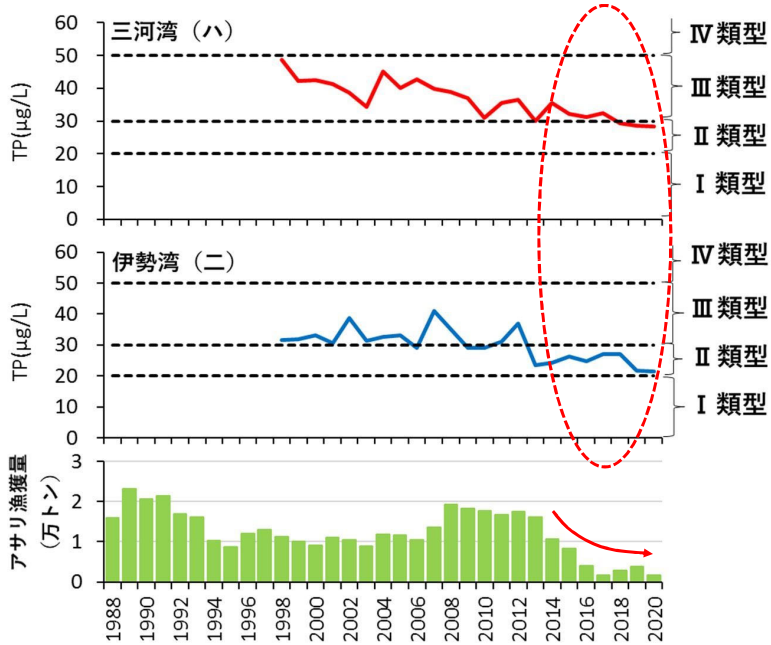


（蒲原ら、2020改）

2018年度 乾海苔共同販売
（乾海苔写真）



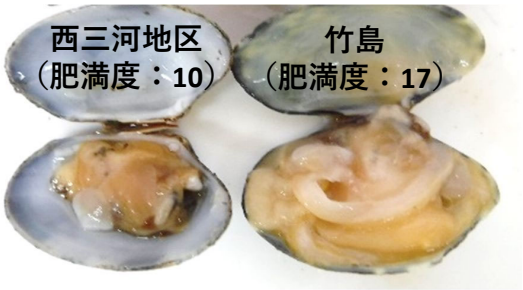
伊勢・三河湾のⅡ類型海域の全リン濃度とアサリ漁獲量の推移



Ⅱ類型を達成する頃から急に取れなくなった！

コウナゴ禁漁

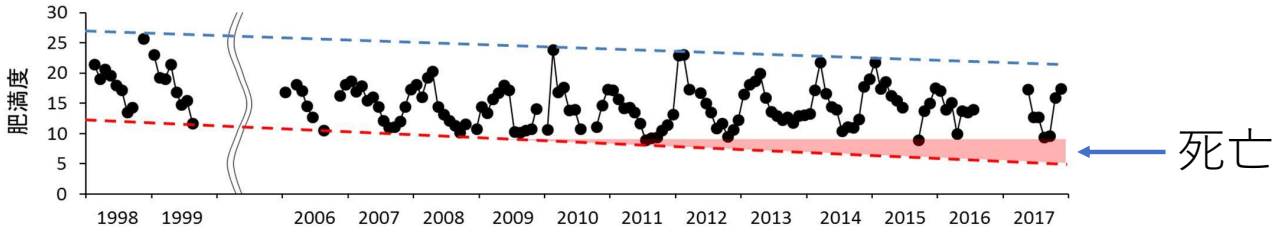
アサリの肥満度は低下傾向・餓死死亡の顕在化



$$肥満度 = \frac{軟体部湿重量(g) \times 10^5}{殻長(mm) \times 殻高(mm) \times 殻幅(mm)}$$

（2019.4）

三河湾主要漁場西三河地区の肥満度の推移



（蒲原ら、2021）

COD、貧酸素化、赤潮は改善せず、「貧栄養化」が進行

- TN,TP環境基準（Ⅱ類型）達成の頃（2010年代半ば）から漁業生産の顕著な低下（食事制限方式のやりすぎによる副作用の顕在化）

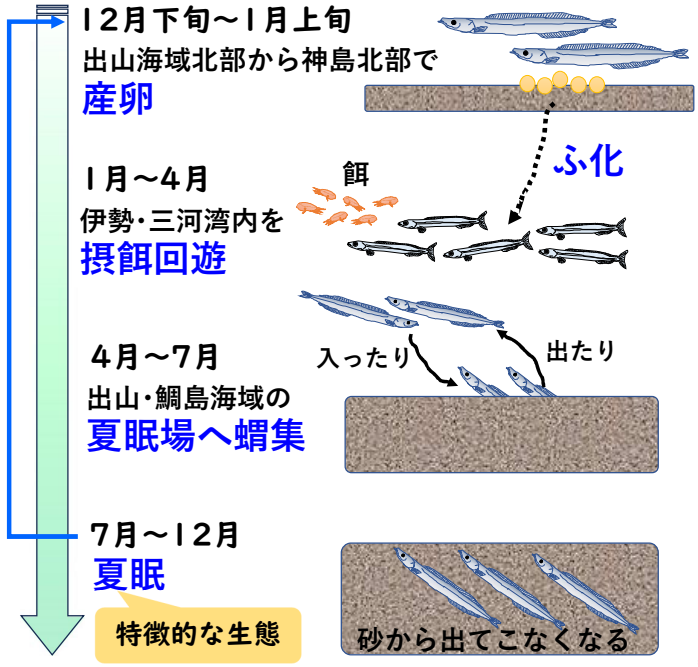
←水温上昇傾向が強調される

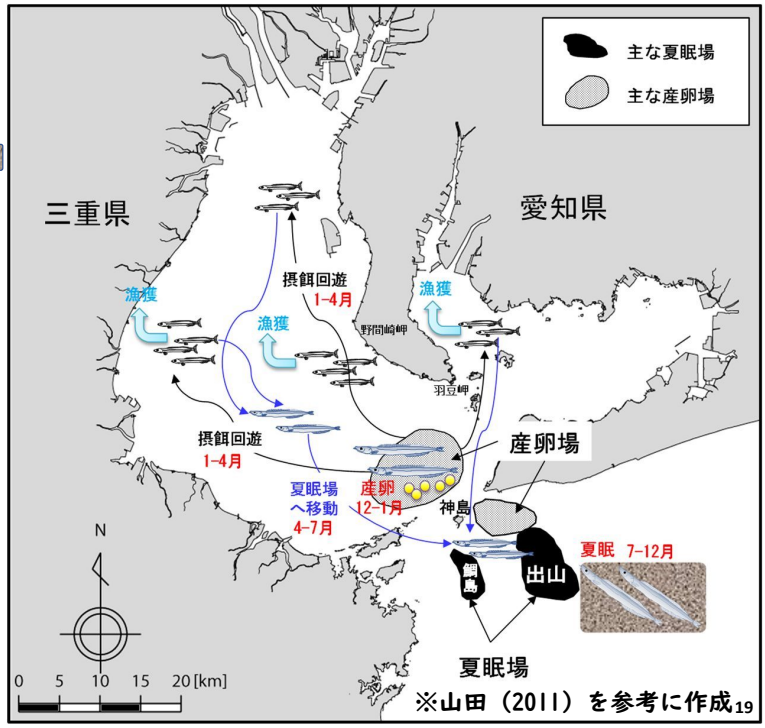
- 漁業生産の低下原因が曖昧化し貧栄養化の深刻さが過小評価（水温上昇が漁業生産低下の主因なのか？）

伊勢湾イカナゴを例に資源減少要因の解析

伊勢湾産イカナゴの生活史 ～ 伊勢湾を湾奥から湾口まで広く利用 ～

イカナゴの一年（寿命は3～4年）





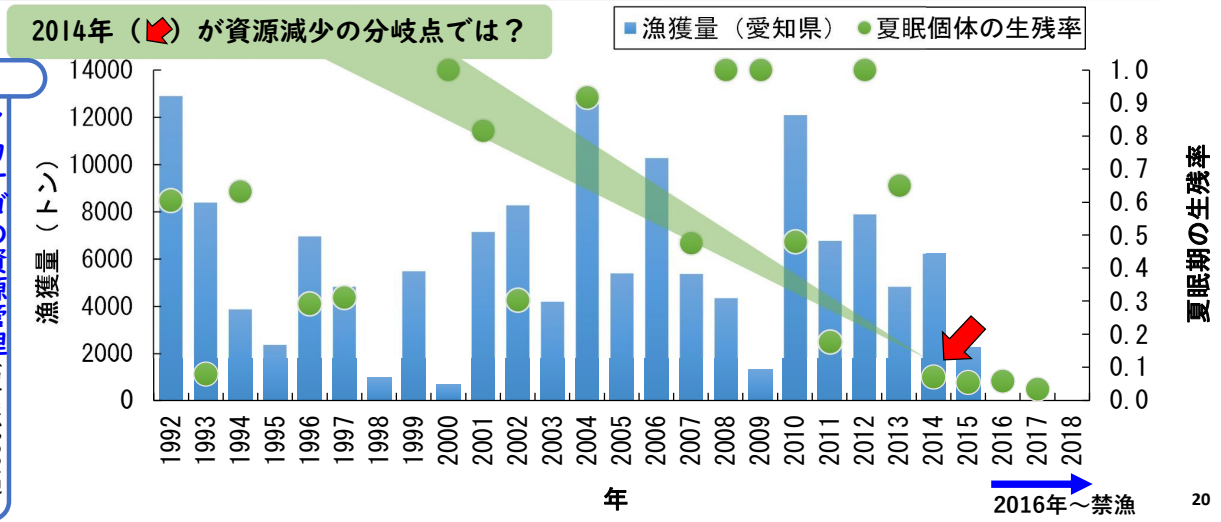
※山田（2011）を参考に作成

資源減少の分岐点 ～ 資源減少の分岐点は夏眠期にある！

- ◆ 愛知県のイカナゴ漁は大きな変動を伴うものの、**2010年を境に急激に減少**し、**2016年には禁漁**に追い込まれ、**その後も資源の回復はみられない**
- ◆ **夏眠期の生残率**（生き残り）は、**2014年以降、低水準**（10%未満）
  - ※ 100個体が夏眠しても、生き残って産卵できるのは数個体
  - ※ 割合でみると、**漁獲を上回る減耗が夏眠時に生じていた**

イカナゴの資源管理（中村ほか，2017）

伊勢湾のいかなご船びき網漁業では、1992年から漁獲後の残存尾数10億尾、2007年からはさらに制限を強化して200億尾以上の残存尾数を目標とした資源管理を、愛知県、三重県の漁業者が協力して行ってきた



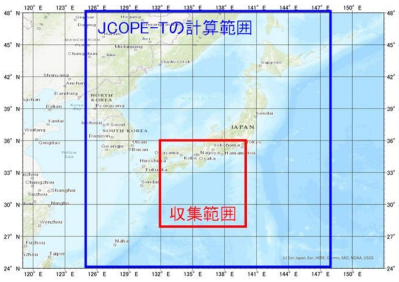
2014年以降は高水温が原因で夏眠場での生残率が悪化したのだろうか？

夏眠場の水温の変化～ JCOPE-Tの水温のデータを利用～

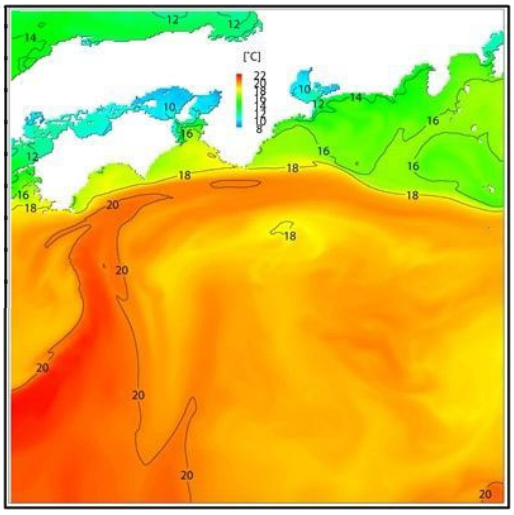
JCOPE-T：Japan Coastal Ocean Predictability Experiment with Tide resolving.
（詳細地形潮汐計算モデル）

【提供】
国立研究開発法人 海洋研究開発機構（JAMSTEC）

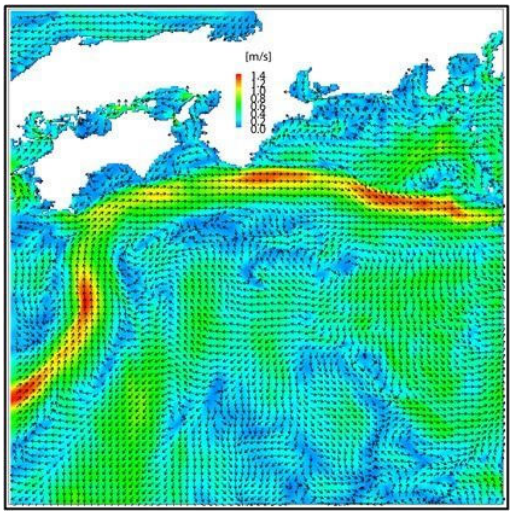
夏眠場の水温を調べる



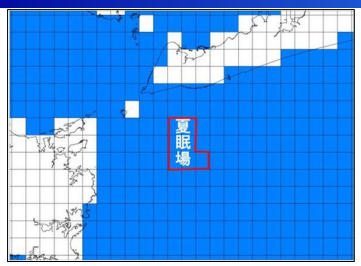
【水温】
2017年4月1日0時 表層（0～2m）



【流速ベクトル】＊色は流速、矢印は流向を表す
2017年4月1日0時 表層（0～2m）

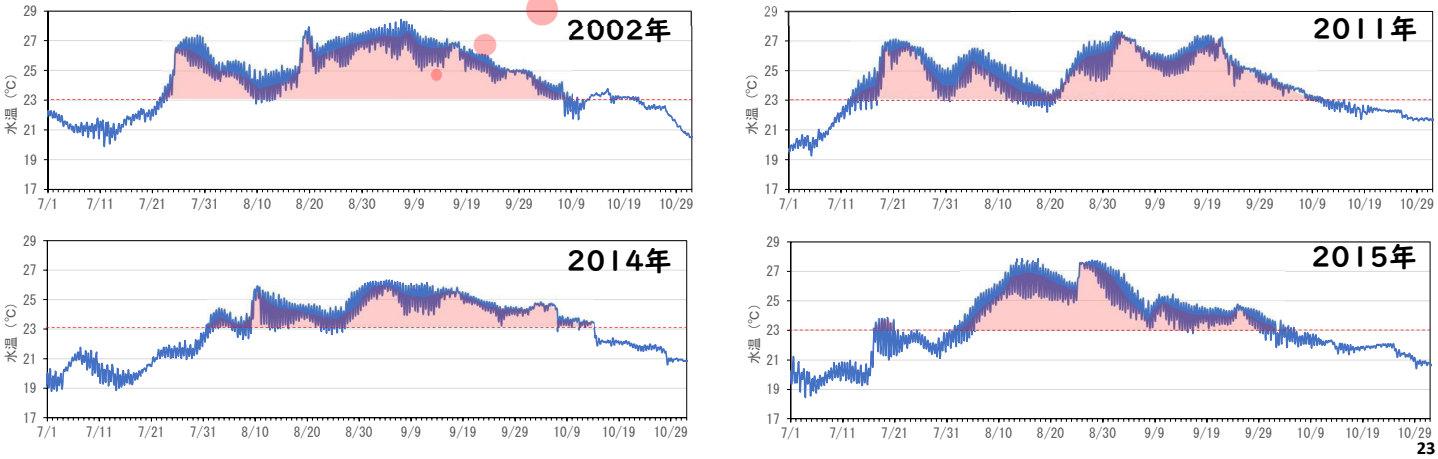


～夏眠場の水温～

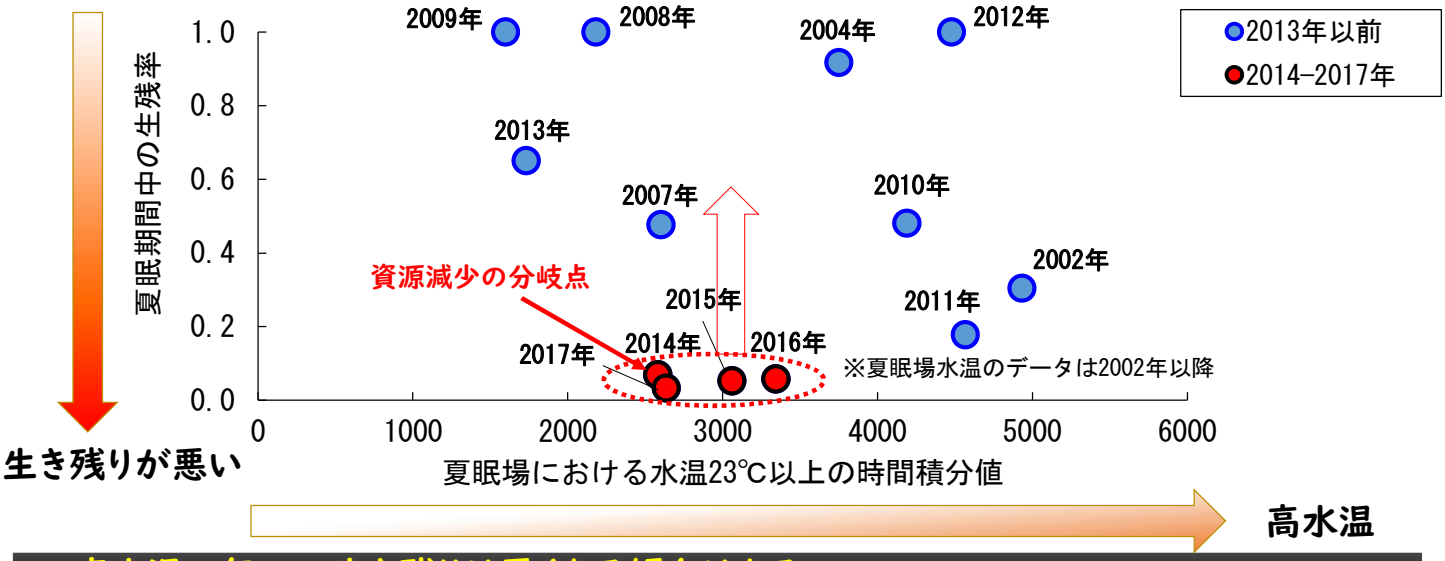


◆夏眠場における水温の変動（2002年から2017年）

夏眠中に23℃以上（死亡する個体がではじめる）の水温にどの程度曝されたのか？



夏眠場における高水温と夏眠期間中の生残率

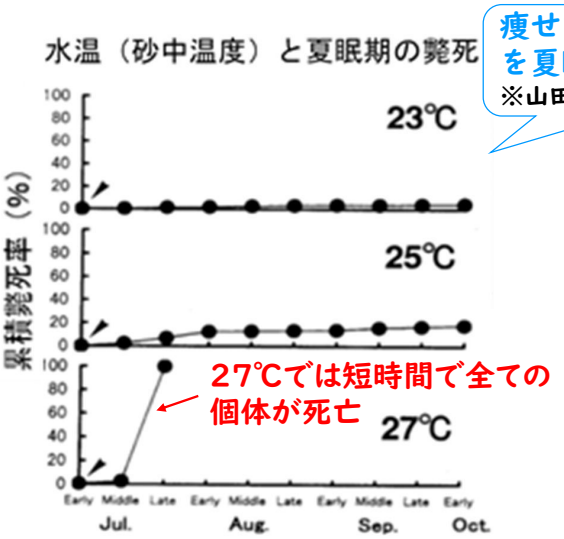


◆ 高水温の年ほど、生き残りは悪くなる傾向はある

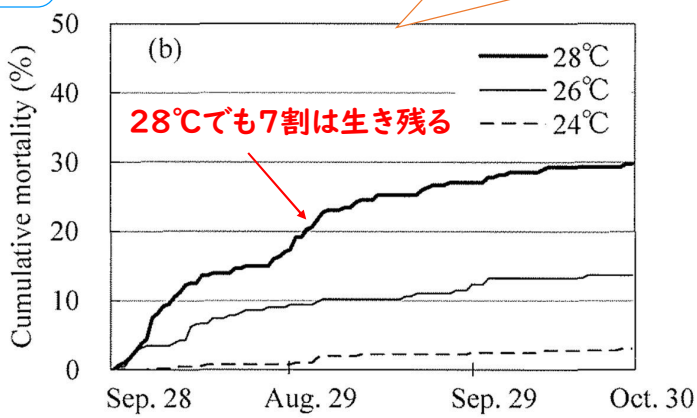
◆ 2014年から2017年（●）の夏眠中の水温は、他の年と比較して高い値ではなく、水温以外の要因で生き残りが悪かったと考えられる

餌不足で夏眠すると高水温に脆弱になる！

餌を食べれたかどうかで高水温耐性が異なる！（2つの飼育実験の結果を比較）



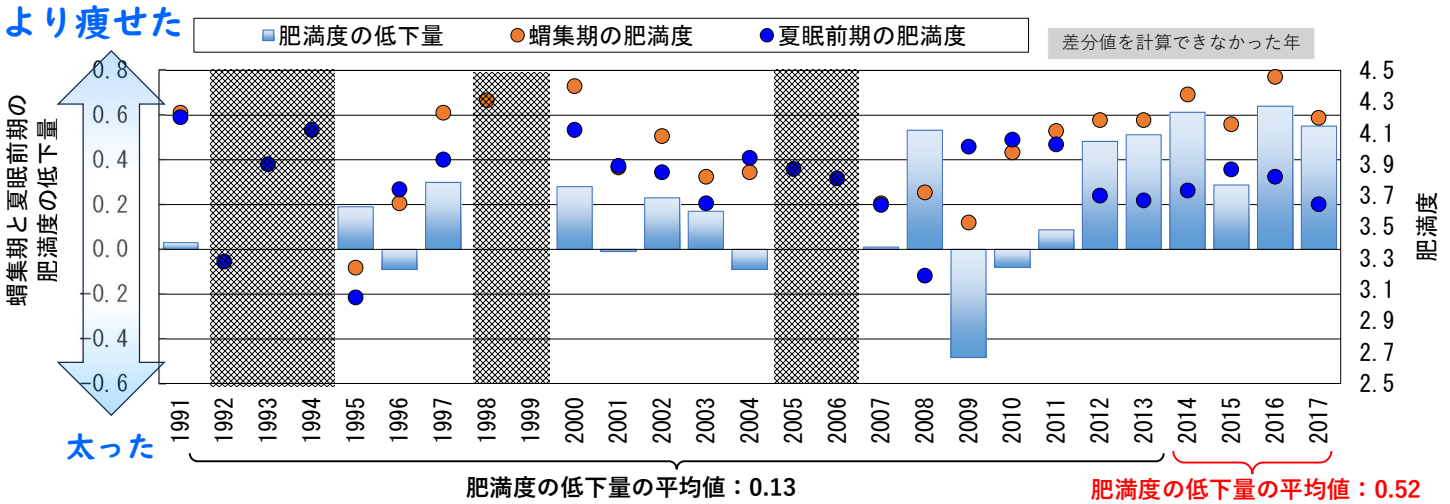
痩せているイカナゴを夏眠させた実験
※山田・久野（1999）



夏眠前の栄養状態が夏眠期間中の高水温耐性を大きく左右している！

夏眠に入る前の蝟集期の肥満度の低下～ 蝟集期から夏眠前期 ～

蝟集期（4-5月） ➤ 夏眠前期（6-7月）でどの程度痩せたのか？



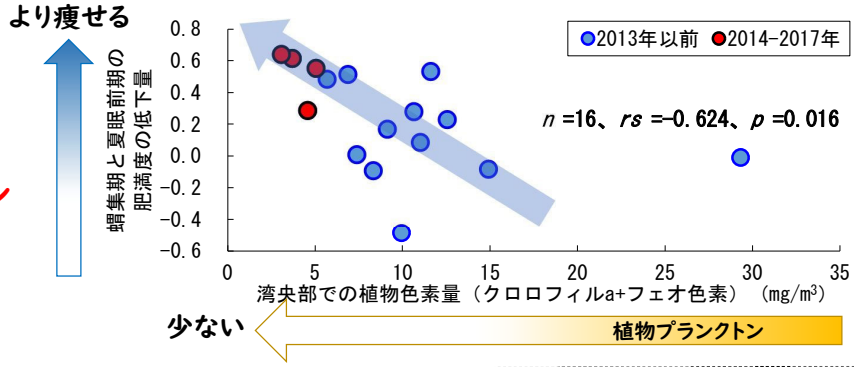
◆ **2012年以降特に2014年以降では、連続して夏眠を開始するまでに肥満度が大きく低下→痩せた状態で夏眠開始**

➡ **蝟集期は餌を食べる➤水温？それとも餌？**

蛸集期から夏眠前期までの肥満度の低下は何故起こったのか？

◆ 植物プランクトンとの関係

- 植物プランクトンが少ないほどより痩せる傾向
- 2014年以降（●）は、植物プランクトンが過去最も少ない

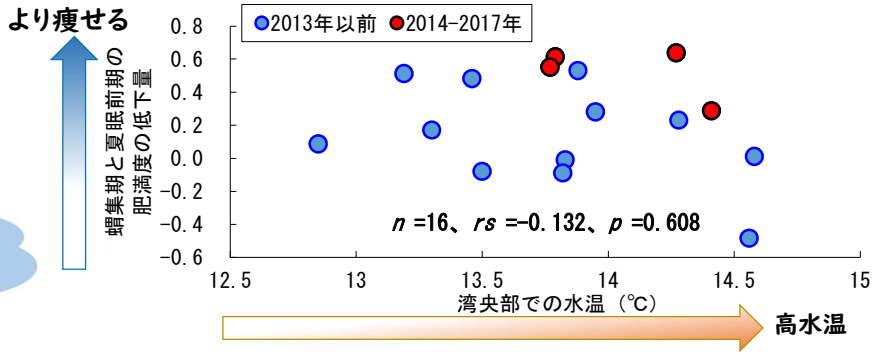


◆ 水温との関係

- 明瞭な関係はない
- 夏眠場の水温でみても同様

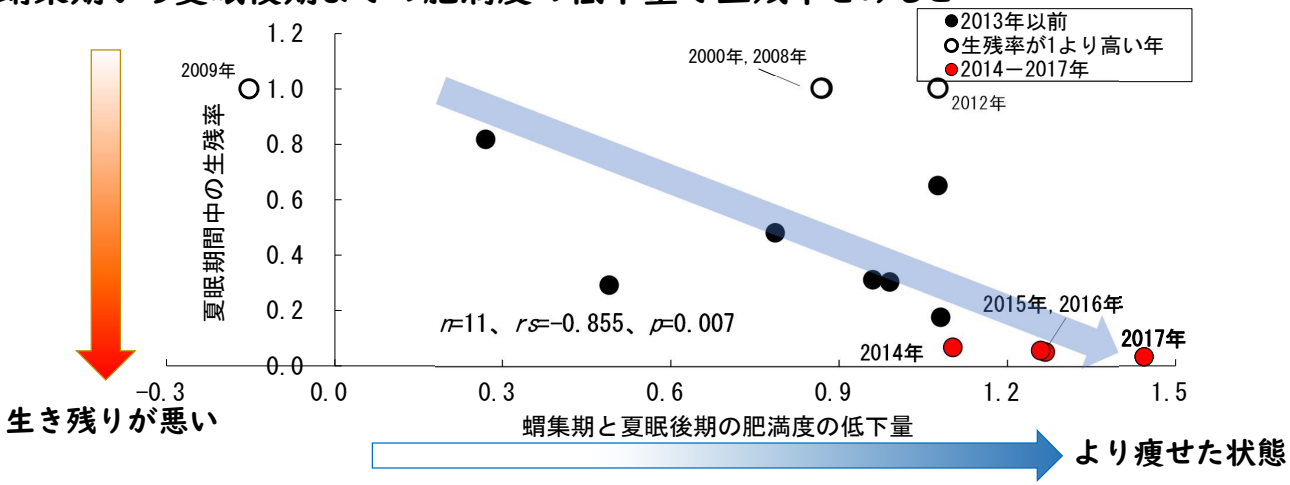
蛸集期 ➤ 夏眠前期

近年（2014年以降）は、水温ではなく餌不足で痩せたと考えられる



蛸集期から夏眠期間中の肥満度の低下と生残率とは関連

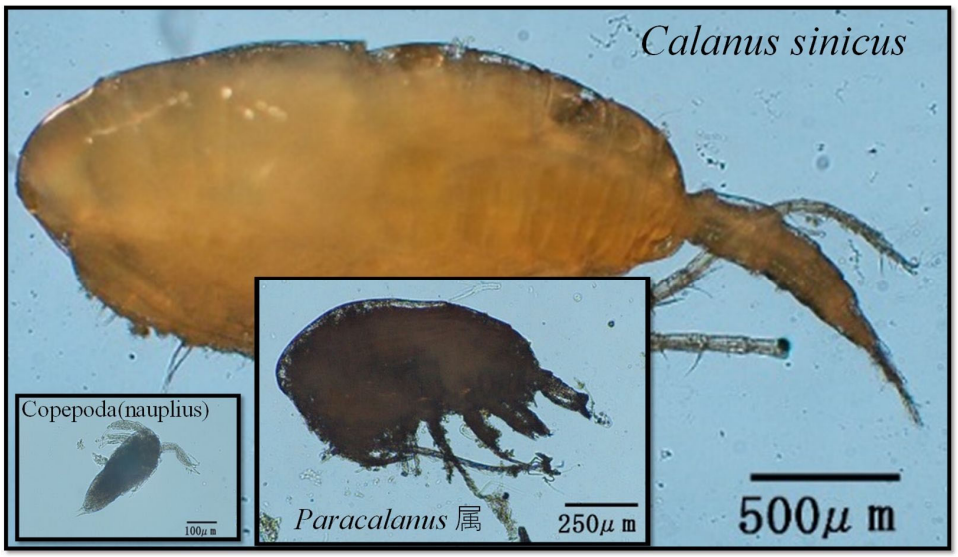
◆ 蛸集期から夏眠後期までの肥満度の低下量で生残率をみると・・・



◆ 夏眠中の高水温では説明がつかなかった2014年から2017年（●）も、餌不足で痩せた蛸集期を含めると、生き残り（生残率）が悪かった状況が説明できる（↘）

➡ 夏眠期の生き残りの悪さは、蛸集期の餌不足に原因がある！

イカナゴにとって重要な餌は カイアシ類



餌の大きさ

大

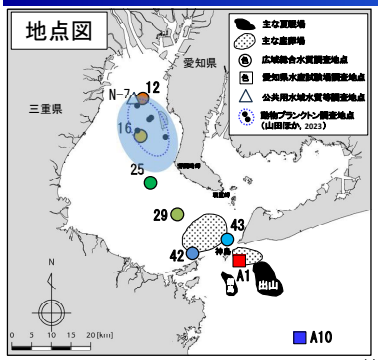
Calanus sinicus
体長：3㎜前後

***Centropages* 属**
体長：1.5㎜前後

***Paracalanus* 属**
体長：1㎜前後

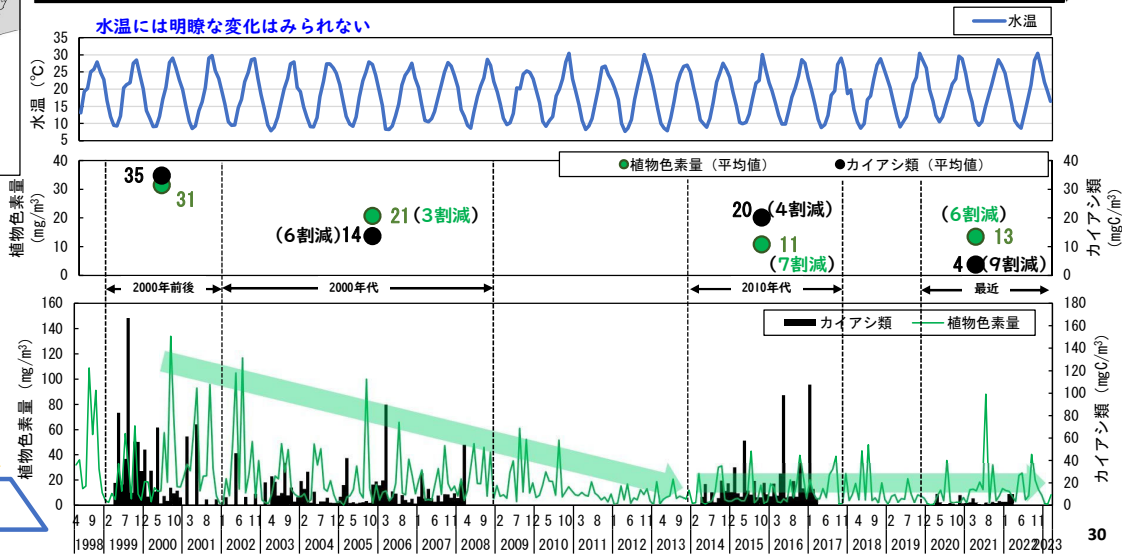
小

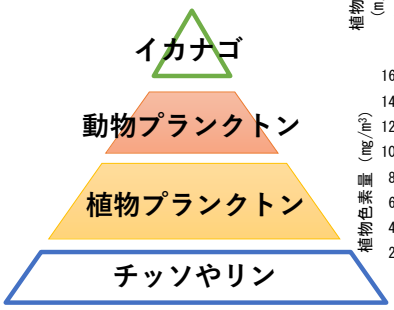
イカナゴの餌は急激に減っている ～ 植物プランクトンとカイアシ類の変化～



伊勢湾央部における水温、植物色素量およびカイアシ類（山田ほか，2023）の経年変化

- ◆ 植物色素量と**イカナゴの餌となるカイアシ類は経年的に減少**、この傾向はイカナゴが摂餌回遊する1－6月に限っても同様
- ◆ 栄養塩濃度やクロロフィル濃度が湾央部よりもさらに低い**出山海域**においては（青山・蒲原，2022）、餌となる**カイアシ類の減少はより顕著**であることが推察





夏眠に入る前の夏眠場周辺海域（湾口付近）への蝟集期（4月～７月）の餌不足により水温耐性が脆弱になったことが資源低下の最大要因

↓

イカナゴは消えてしまったのか？（環境DNA）

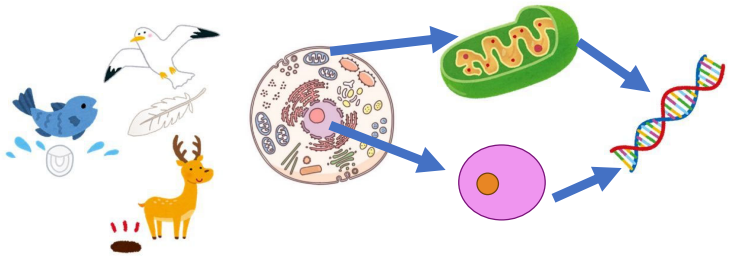
回復の可能性はあるのか？（伊勢湾イカナゴ生活史モデル）

イカナゴは全滅したのか？環境DNAによる調査

- 環境DNAとは…
  環境中に生物が放出したDNAを含む物質の総称

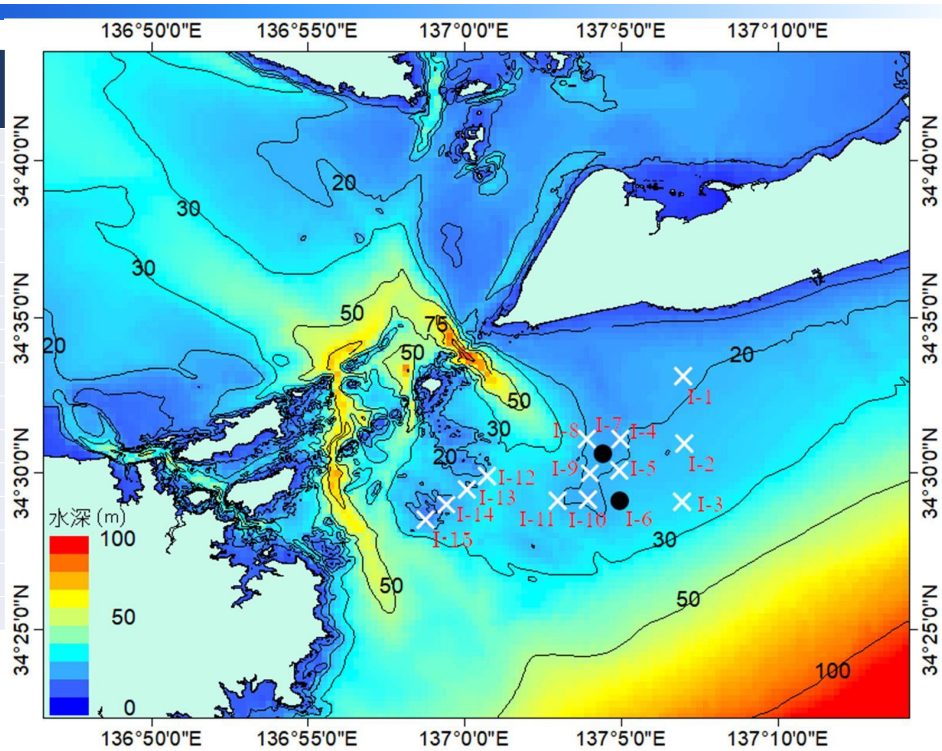
水・空気・土壌など生物の生活環境

体毛・表皮・鱗・糞・それらに付着する細胞、
その分解物である細胞内小器官、
それらから放出されたDNA自体



現地調査～種特異的解析結果～海底直上水

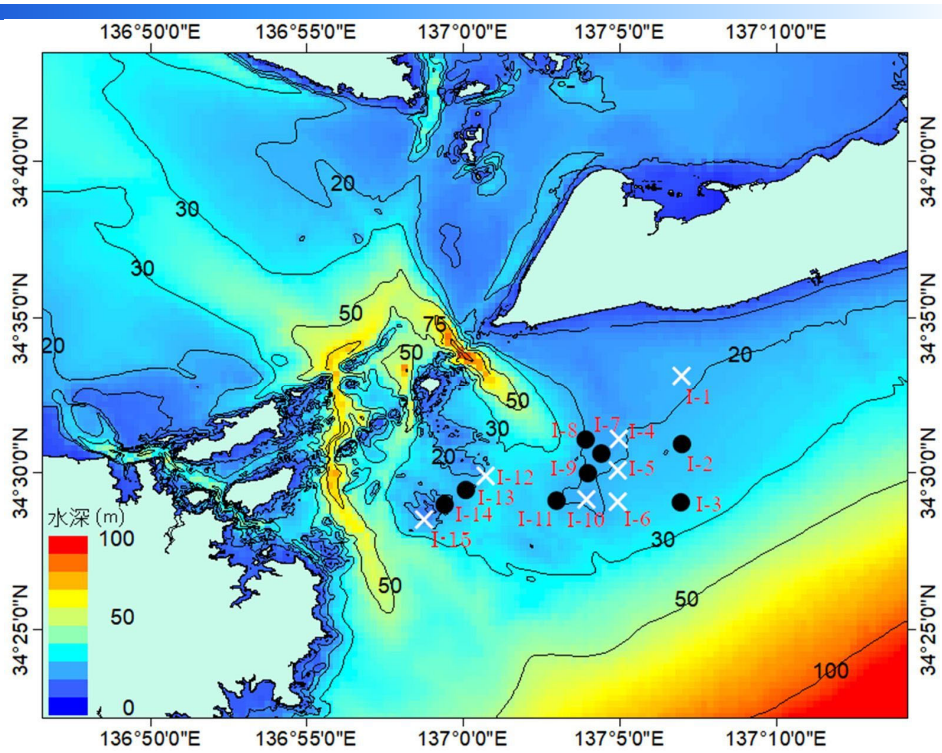
海域	採水日	地点	採水水深	ろ過量	SGF結果	GF/F結果
伊勢湾	2023年7月4日	I-1	B＋0.5 m	4 L	－	
		I-2			－	
		I-3			－	
		I-4			－	
		I-5			－	
		I-6			＋	＋
		I-7			＋	－
	2023年6月27日	I-8			－	
		I-9			－	
		I-10			－	
		I-11			－	
		I-12			－	
		I-13			－	
		I-14			－	
		I-15			－	



●：陽性；×（白）：陰性

現地調査～種特異的解析結果～堆積物

海域	採水日	地点	採水水深	堆積物量	SGF結果	GF/F結果
伊勢湾	2023年7月4日	I-1	B＋0.5 m	4 0 g	－	－
		I-2			＋	－
		I-3			＋	－
		I-4			－	－
		I-5			－	－
		I-6			－	－
		I-7			－	＋
	2023年6月27日	I-8			＋	－
		I-9			－	＋
		I-10			－	－
		I-11			－	＋
		I-12			－	－
		I-13			－	＋
		I-14			－	＋
		I-15			－	－

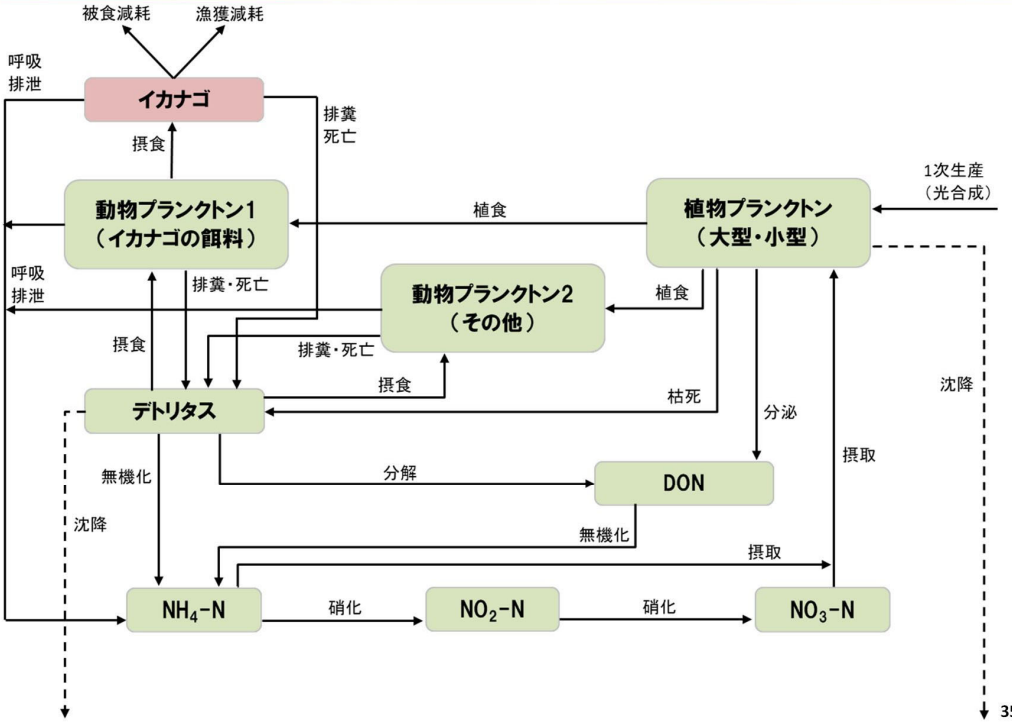


●：陽性；×（白）：陰性

イカナゴ生活史モデル モデルの概念図

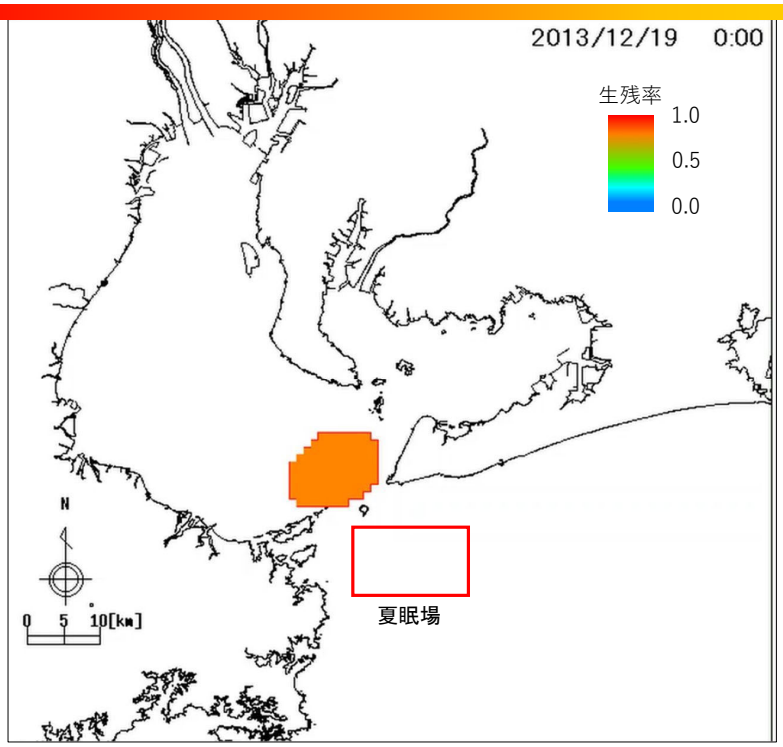
■ モデル

- イカナゴから栄養塩に至る物質循環をモデル化
- イカナゴは、受動的なトレーサとして取り扱う.
- 発達段階ごとの成長、生残プロセスを考慮.



丸尾哲平・反田實・田口浩一・市川哲也・橋口晴穂・今尾和正. 2022. 大阪湾・播磨灘におけるイカナゴ生活史モデルの開発－低次栄養段階生態系モデルとの結合－. 海洋理工学会誌. 27(1). 15-30.

現況再現シミュレーション 計算結果（2013/12/19～2014/7/15）



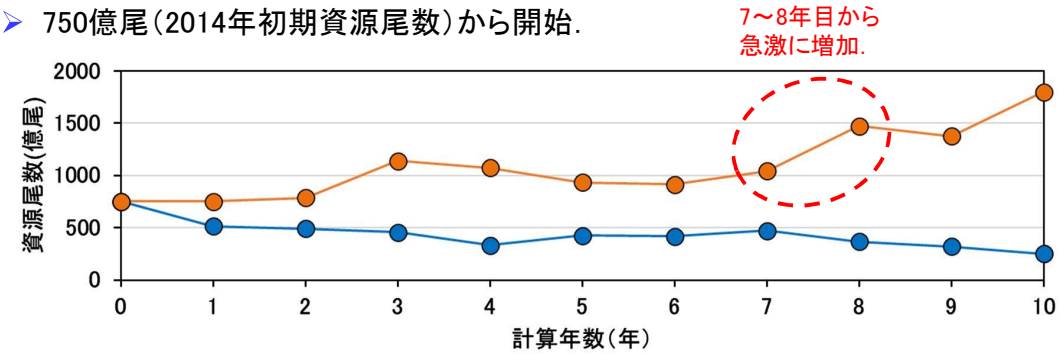
■ イカナゴの漂流結果

- 産卵
  - 12月19日.
  - 1月1日.
- 1月～2月
  - 伊勢湾、三河湾に広く漂流.
  - 伊勢湾外への無効分散あり.
- 3月～5月中旬
  - 漁獲による生残率減少.
- 5月～6月
  - 夏眠場への蝟集.
- 6月～7月
  - 夏眠場への着底.

イカナゴ資源の回復を目指した想定計算 計算結果

■ 再生産資源尾数の変動

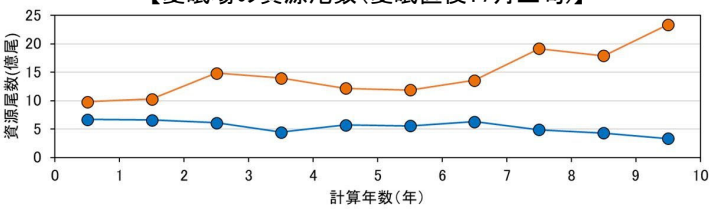
➢ 750億尾（2014年初期資源尾数）から開始.



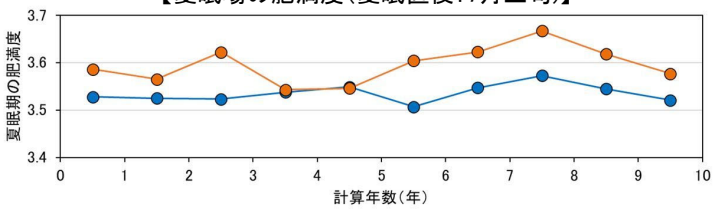
2000年代中期の栄養塩⇒資源尾数が増加.

2014年の栄養塩のまま⇒ 回復せず、漸減傾向.

【夏眠場の資源尾数（夏眠直後：7月上旬）】



【夏眠場の肥満度（夏眠直後：7月上旬）】



✓ 夏眠場への蝟集尾数の増加！

2014年栄養塩のまま　2000年代中期の栄養塩

✓ 成長自体の向上！

イカナゴ資源の回復を目指した想定計算 計算結果

■ 海域ごとの餌料濃度

（2000年代中期の栄養塩を想定すると、湾口や三河湾のイカナゴ資源尾数が増加するのか？）

➢ 水深が浅く、閉鎖的で流入負荷の変化に敏感な三河湾の特徴.

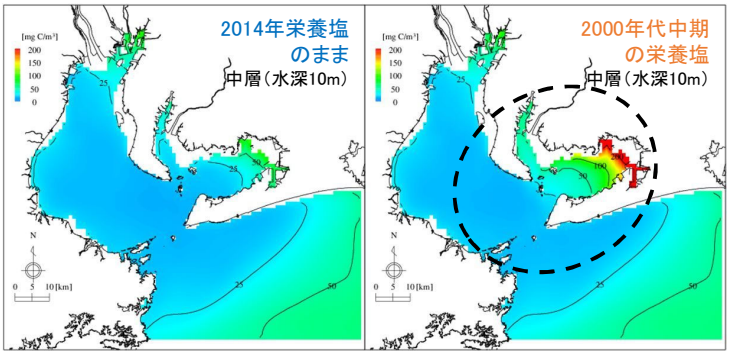
➢ 1次生産（植物プランクトン）および2次生産（動物プランクトン）の増加.

➢ 餌を求めて三河湾の出口にある伊勢湾口、湾央にイカナゴが集積してくる.

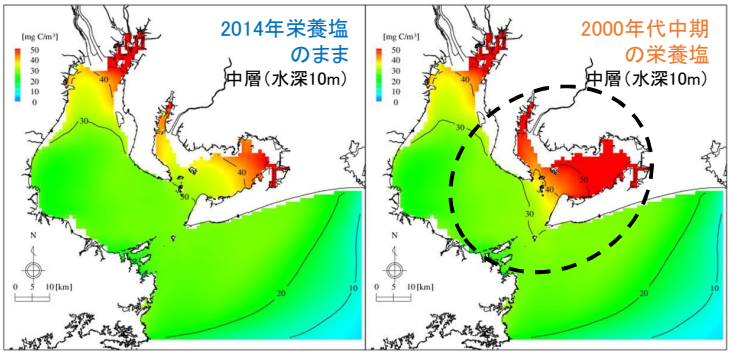
⇒ 三河湾からの染み出し効果により、湾口付近のイカナゴ資源尾数も増加する！

三河湾のアサリと伊勢湾のイカナゴの減少が同期しているのも同じ原因かも！？

【植物プランクトン（10年目5月）】



【動物プランクトン（10年目5月）】



貧栄養化を解消するためには今、何が必要か？

↓

環境基準（COD）、類型指定の見直し、負荷管理の見直し（広域流域処理から地域処理）

環境基準と水産用水基準との関係

利水目的	水質レベル		類型	水質環境基準	
	TN濃度(mg/L)	TP濃度(mg/L)		TN(mg/L)	TP(mg/L)
自然環境保全	0.2以下	0.02以下	I	0.2以下	0.02以下
水浴	0.3～0.4以下	0.03以下	II	0.3以下	0.03以下
水産1種	0.3以下	0.03以下			
水産2種	0.6以下	0.05以下	III	0.6以下	0.06以下
水産3種	1.0以下	0.09以下	IV	1.0以下	0.09以下
工業用水	1.0以下	0.09以下			
環境保全	0.6～1.0以下	0.05～0.09以下			

シャコ

アサリ

イワシ類

アサリがⅣ類型、シャコがⅢ類型、イワシ類がⅢ・Ⅳ類型であるが、主要漁場はⅡ類型に指定。
何故環境基準はⅡ類型になっているのか？ →
利水目的に水浴があるから

「利水目的の変化」（水産利用上の障害）を考慮した類型指定の見直し

第４　環境基準の見直し　　（環境庁告示第59号）

１　環境基準は、次により、適宜改訂することとする。

⑴　科学的な判断の向上に伴う基準値の変更および環境上の条件となる項目の追加等

⑵　水質汚濁の状況、水質汚濁源の事情等の変化に伴う環境上の条件となる項目の追加等

⑶　水域の利用の態様の変化等事情の変更に伴う各水域類型の該当水域および当該水域類型に係る環境基準の達成期間の変更

広域流域下水道と海の栄養塩環境との関連

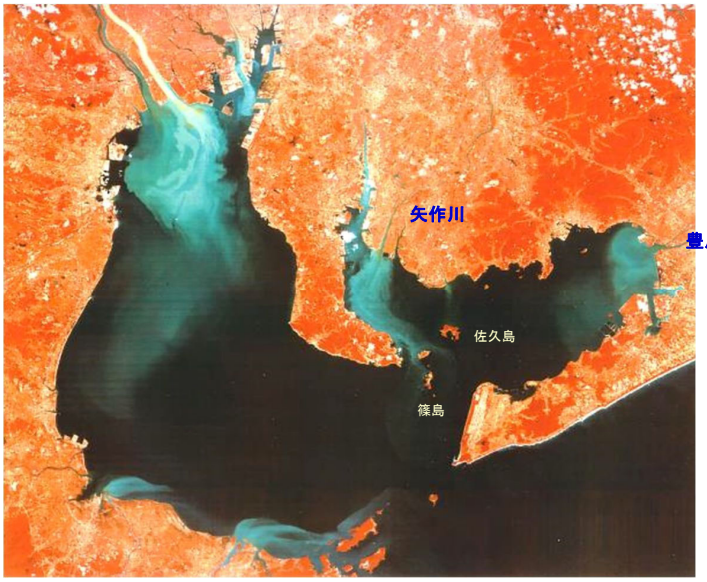
―三河湾、矢作川を例として―

（京都大学藤原名誉教授資料）

【三河湾西部】

★　矢作川の 窒素・リン が，
知多半島東岸、日間賀島，篠島，佐久島 を潤す

★　矢作川の 砂
集水域の中に「川砂」でできた山々がある。
アサリを育てるにはとても良い川.



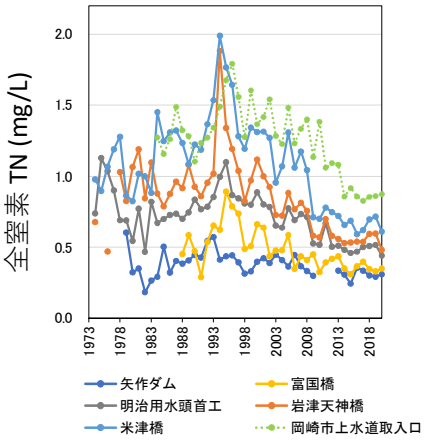
（出水時の河川水の可視映像）

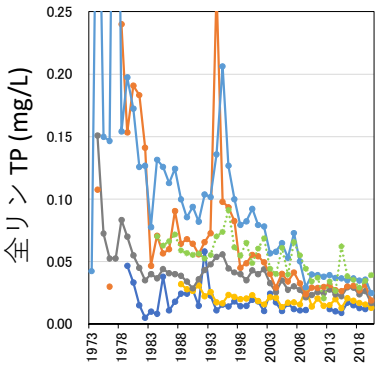
矢作川流域下水道処理区域及び幹線

広域流域下水道の矢作川浄化センター

矢作川流域下水道パンフレットから

28



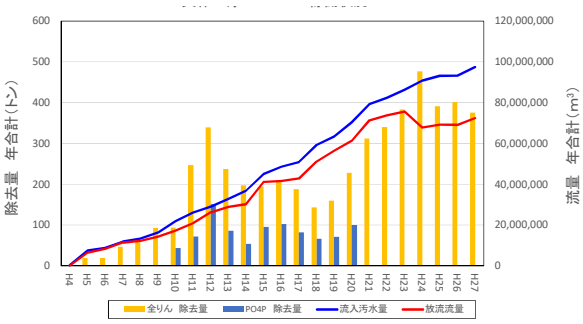


矢作川 の 中流から下流までの　水質

1973年（昭和48年）　から2020年度

河川水の TN, TP濃度が高くなっているのは富国橋より下流側
（東海環状自動車道よりも南西側）

豊国橋下流域は1996年頃をピークとして急速に減少（1992年矢作川流域下水道幹線完成）



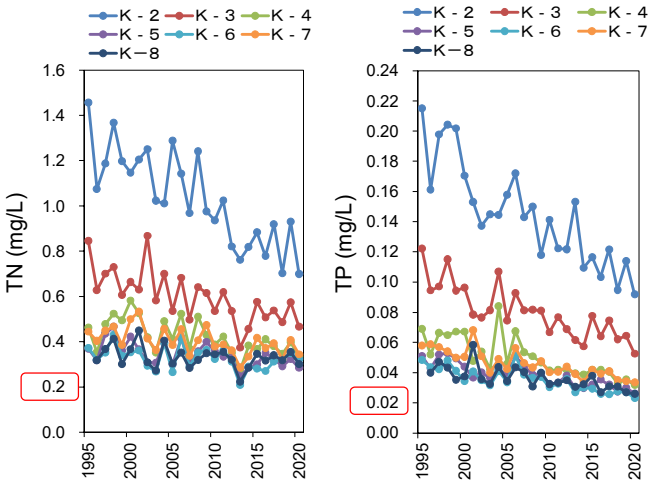
矢作川浄化センター稼働状況（リン除去量等）

三河湾西部の全窒素TN・全リンTP（mg/L）

矢作川の濃度が低下した頃から海域でもTN・TP濃度は減っている

島しょ部湾口近くのTPは，Ⅰ類型（赤枠濃度値）の水準に近づきつつある．

海域も
TPの低下が，下げ止まっては　いないようだ．



1995年度（平成7）から2020年度
（25年間）

国土地理地図（電子国土web）を利用

全リン TP (mg/L)
（知多湾＆三河湾西部，表層）

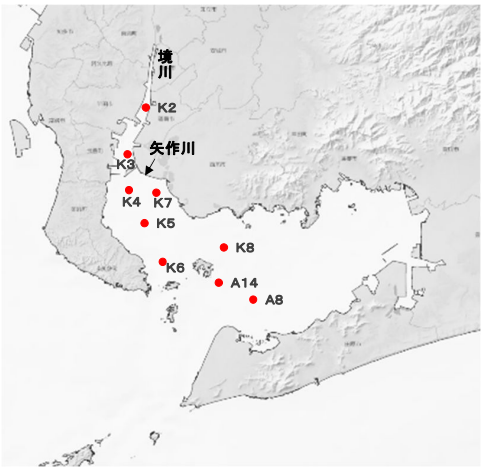
陸からのリン流入量が 1/2 に減少し，
海域のリン濃度が急速に下がっている．

（湾奥）　境川　矢作川　佐久島　→ 湾口

1995 → 年度 ← 2020

年度	K2	K3	K4	K7	K5	K6	K8	A14	A8
1995	0.215	0.122	0.069	0.058	0.051	0.048			0.044
1996	0.161	0.095	0.052	0.059	0.043	0.044	0.040	0.039	0.037
1997	0.198	0.097	0.066	0.057	0.052	0.042	0.047	0.039	0.037
1998	0.204	0.115	0.065	0.054	0.053	0.048	0.043	0.034	0.041
1999	0.202	0.094	0.067	0.050	0.049	0.041	0.035	0.039	0.037
2000	0.171	0.096	0.067	0.051	0.044	0.034	0.037	0.033	0.034
2001	0.153	0.078	0.048	0.068	0.037	0.041	0.058	0.032	0.033
2002	0.137	0.077	0.054	0.051	0.040	0.035	0.036	0.034	0.037
2003	0.145	0.081	0.042	0.040	0.036	0.032	0.033	0.030	0.027
2004	0.145	0.107	0.084	0.049	0.042	0.041	0.044	0.034	0.030
2005	0.158	0.075	0.046	0.042	0.039	0.034	0.035	0.032	0.059
2006	0.172	0.093	0.067	0.056	0.051	0.051	0.044	0.036	0.032
2007	0.143	0.081	0.054	0.046	0.044	0.039	0.040	0.033	0.034
2008	0.150	0.082	0.051	0.043	0.039	0.037	0.031	0.032	0.030
2009	0.118	0.081	0.047	0.048	0.040	0.037	0.040	0.034	0.029
2010	0.141	0.067	0.041	0.040	0.032	0.030	0.032	0.030	0.030
2011	0.122	0.077	0.042	0.041	0.033	0.033	0.033	0.027	0.030
2012	0.122	0.069	0.042	0.044	0.038	0.036	0.035	0.032	0.033
2013	0.153	0.062	0.040	0.039	0.030	0.027	0.031	0.036	0.025
2014	0.109	0.057	0.039	0.034	0.030	0.030	0.032	0.026	0.022
2015	0.117	0.078	0.042	0.042	0.032	0.029	0.038	0.030	0.030
2016	0.103	0.064	0.042	0.039	0.035	0.026	0.027	0.026	0.026
2017	0.122	0.075	0.041	0.041	0.032	0.026	0.031	0.033	0.028
2018	0.095	0.062	0.033	0.035	0.027	0.028	0.031	0.027	0.024
2019	0.114	0.064	0.036	0.034	0.030	0.027	0.027	0.027	0.024
2020	0.092	0.053	0.032	0.034	0.026	0.023	0.026	0.024	0.023

赤：高濃度，青：低濃度



国土地理地図（電子国土web）を利用