

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
東海大学海洋学部

目次

- ① 研究の背景&目的
- ② 解析方法
- ③ 2002年の解析結果
- ④ 1961年から1988年の解析結果
- ⑤ 結論

① 研究の背景&目的

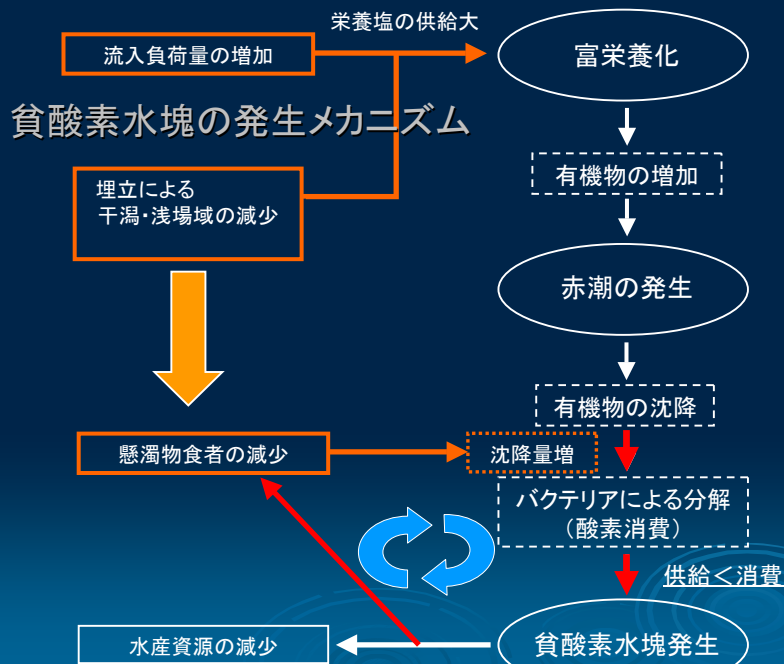
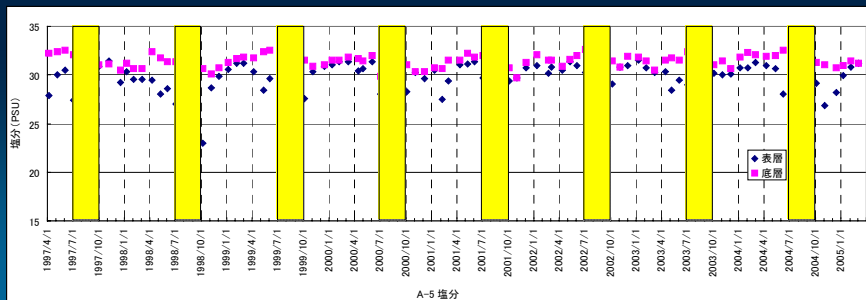
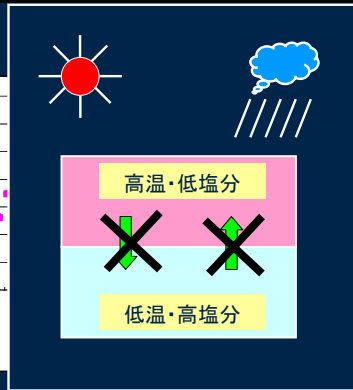
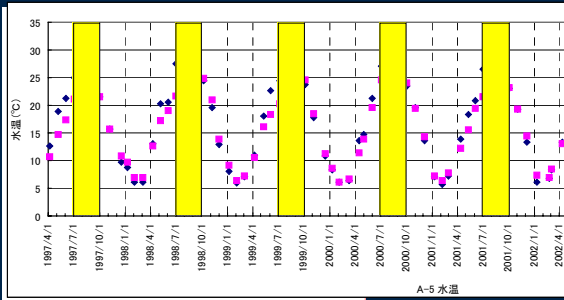
— 三河湾について —

- 水域面積: 604km²
- 平均水深: 9.2m
- 干潟面積: 約1300ha (2000年)
- 水産資源が豊富(アサリなど)
- 流入河川
豊川, 矢作川, 境川, 梅田川, 柳生川など
- 流入負荷: 工業排水 < 畜産排水 or 生活排水

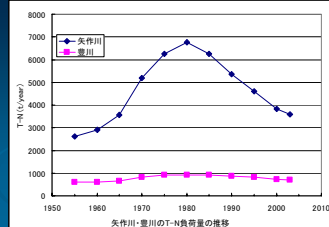
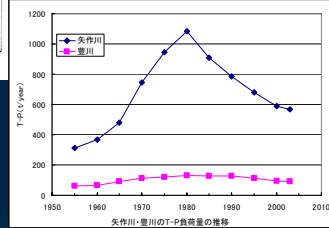
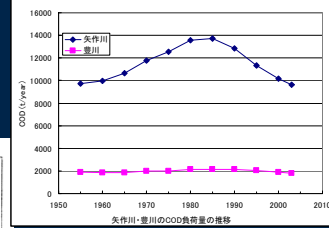
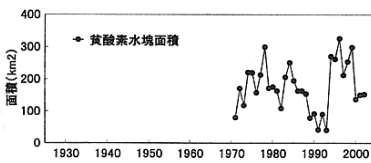
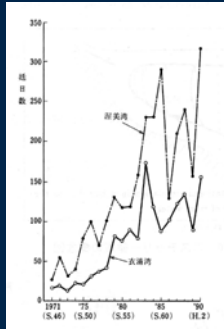


閉鎖性内湾

現在の三河湾の問題

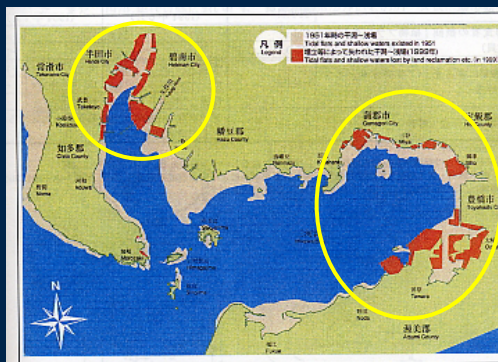
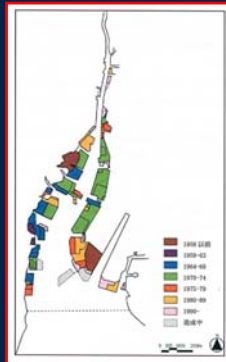


流入負荷量の推移

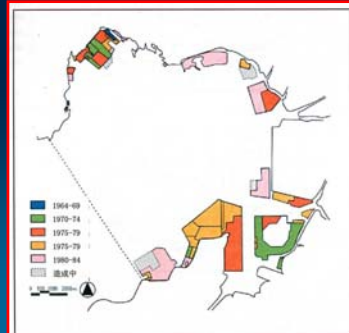


- 流入負荷量のピークは1980年ごろ
- 負荷量が減少しても赤潮・貧酸素水塊は解消されていない

埋立



	干潟面積 (ha)
昭和30年	2650
昭和50年	1400
平成15年	1300



- 貧酸素水塊は1970年代から発生規模拡大
- 河川負荷量は1980年にピーク
その後減少
- 埋立は1970年代で最盛期
特に三河港

負荷量は減少したが、貧酸素水塊は
解消されていない



埋立・浅場域の減少の影響が大きい？

目的

三河湾の貧酸素水塊を解消するには
根本的な原因を知る必要がある

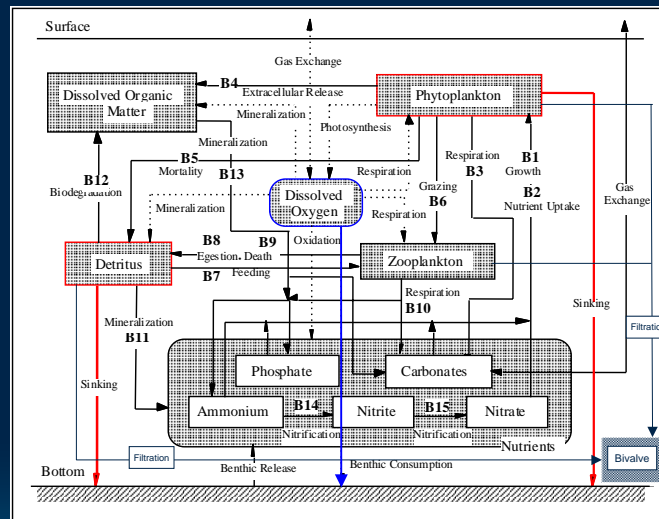
負荷量の増加

干潟・浅場域の減少 → 二枚貝の資源量減少

- モデルを用いて1961年から88年を解析し、
貧酸素水塊形成の原因を探る

注目ポイント: 有機物の沈降 堆積物中の酸素消費

② 解析方法



$$\text{底泥酸素消費量} (\text{mgO}_2 / \text{m}^2 / \text{day}) = \alpha \times \exp(\beta T) \times H \times \text{DO}$$

α : 酸素消費速度定数 (day^{-1}) β : 温度係数 ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)

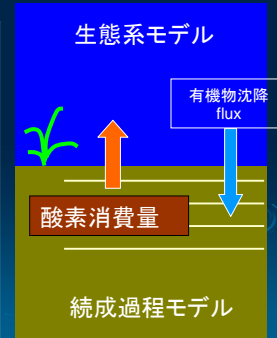
有機物の沈降量が底泥の酸素消費に反映されていない

続成過程モデル

- バクテリアによる有機物の分解
- 鉛直1次元の堆積物中の物質の濃度や消費速度を算出

$$\frac{\partial \phi C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\phi D \frac{\partial C}{\partial x} + \phi D_B \frac{\partial C}{\partial x} - \phi u C \right) \pm \Sigma R$$

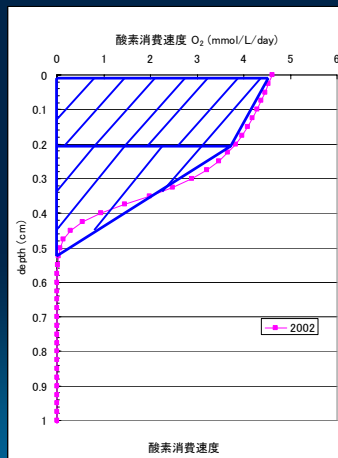
使用基質	一次反応式
酸素呼吸	$(CH_2O)_A(NH_3)_B(H_3PO_4)_C + (A+2B)O_2 \rightarrow ACO_2 + B HNO_3 + C H_3PO_4$
硝酸還元	$(CH_2O)_A(NH_3)_B(H_3PO_4)_C + 4/5ANO_3 \rightarrow A/5CO_2 + 4A/5HCO_3 + 2A/5N_2 + B/5NH_3 + C/5H_3PO_4$
マンガン還元	$(CH_2O)_A(NH_3)_B(H_3PO_4)_C + 2AMnO_2 + 3ACO_2 \rightarrow 4AHCN_3 + 2AMn^{2+} + B NH_3 + C H_3PO_4$
鉄の還元	$(CH_2O)_A(NH_3)_B(H_3PO_4)_C + 4AFe()-solid + 7ACO_2 \rightarrow 8AHCN_3 + 4AFe^{2+} + B NH_3 + C H_3PO_4$
硫酸還元	$(CH_2O)_A(NH_3)_B(H_3PO_4)_C + A/2SO_4 \rightarrow AHCN_3 + A/2H_2S + B NH_3 + C H_3PO_4$
メタン発酵	$(CH_2O)_A(NH_3)_B(H_3PO_4)_C \rightarrow A/2CO_2 + A/2CH_4 + B NH_3 + C H_3PO_4$



モデルには酸素消費速度を与える

$$\text{底泥酸素消費量} (mgO_2 / m^2 / day) = \alpha \times \exp(\beta T) \times H \times DO$$

α : 酸素消費速度定数 (day^{-1}) β : 温度係数 ($^{-1}$)

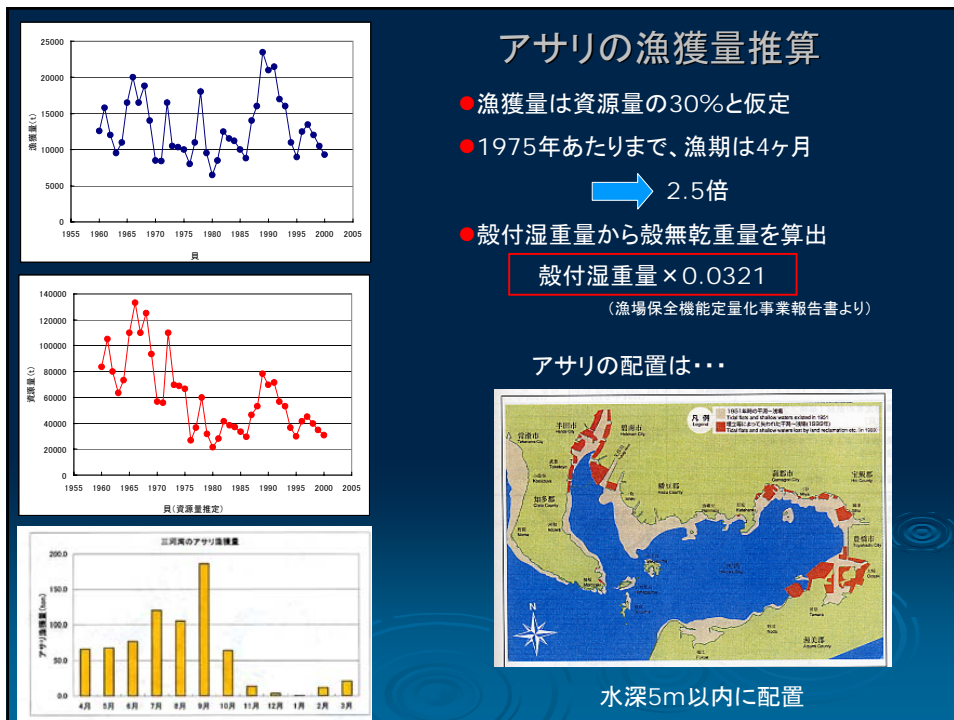


2002年の酸素消費速度定数のデータあり

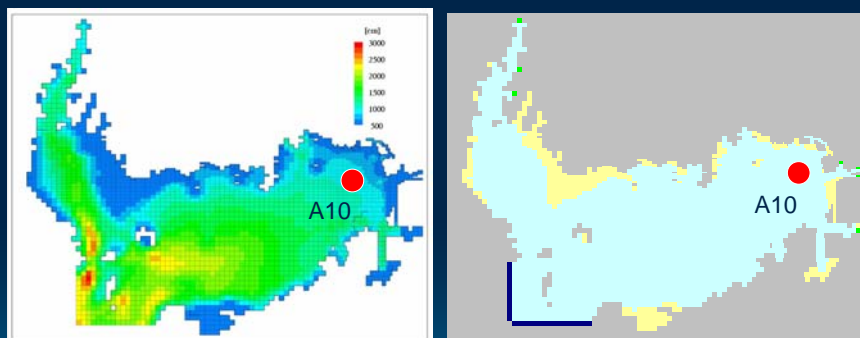
↓
続成過程モデルから酸素消費量を算出

↓
1961, 1970, 1978, 1983年の酸素消費量を求め、相対的に消費速度定数を算出

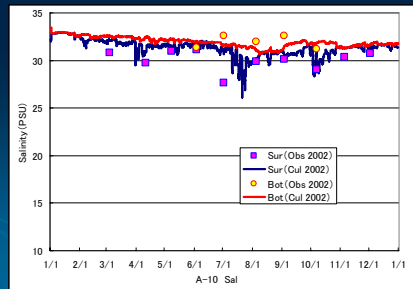
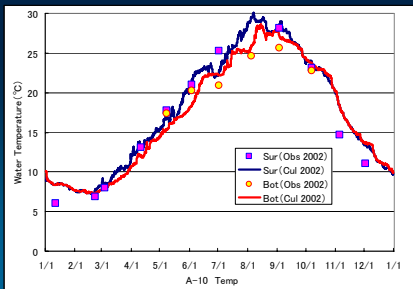
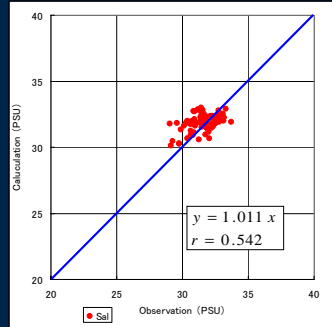
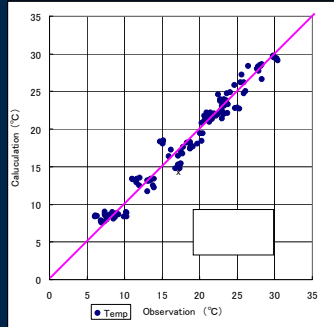
$$\begin{aligned} & 19XX年の0 \text{ 時 } O_2 \text{消費速度定数} (day^{-1}) \\ &= \frac{19XX年の酸素消費量}{2002年の酸素消費量} \times 2002年0 \text{ 時 } O_2 \text{消費速度定数} \end{aligned}$$



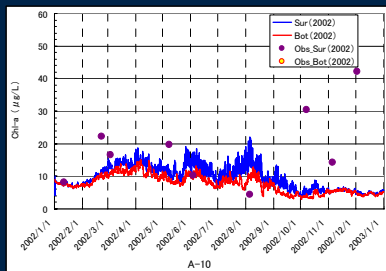
③ 2002年の解析結果



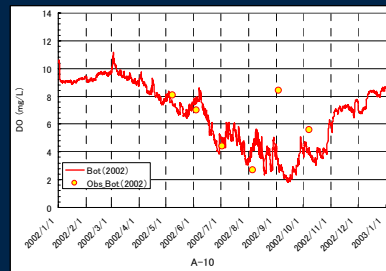
流動モデルの結果－2002年－(A10)



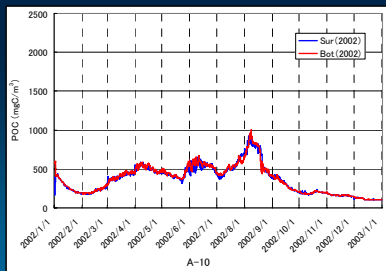
生態系モデルの結果－2002年－



Chlorophyll-a

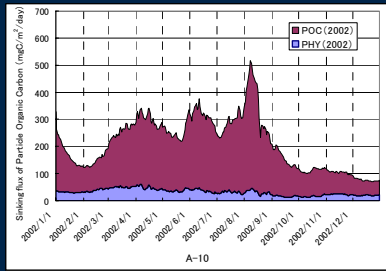


DO

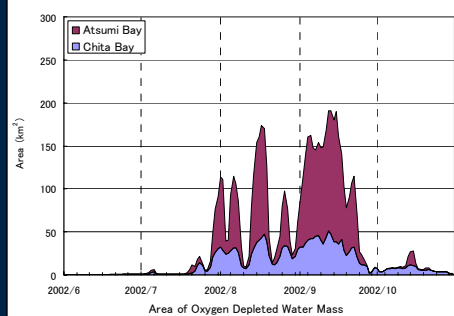


POC

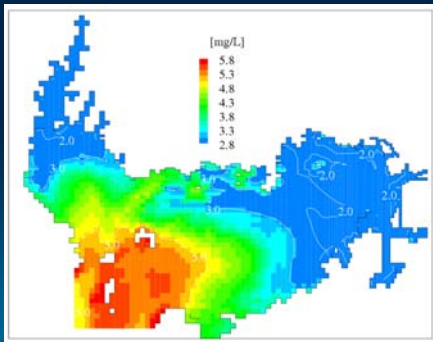
- 極端な変化に対応できていない
- 夏季の傾向を捉えている



有機物沈降flux



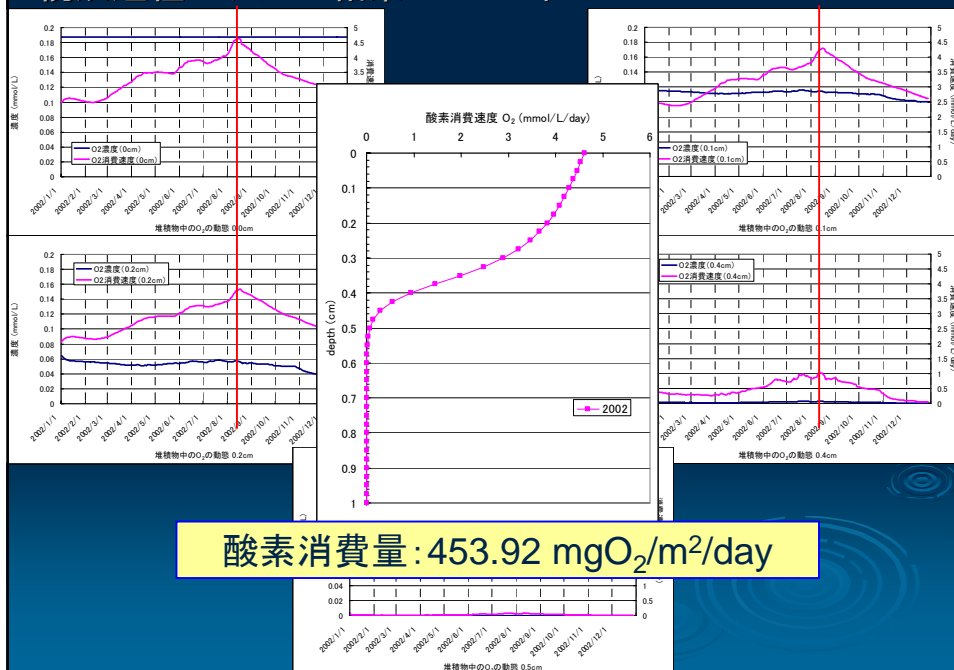
貧酸素水塊面積の推移



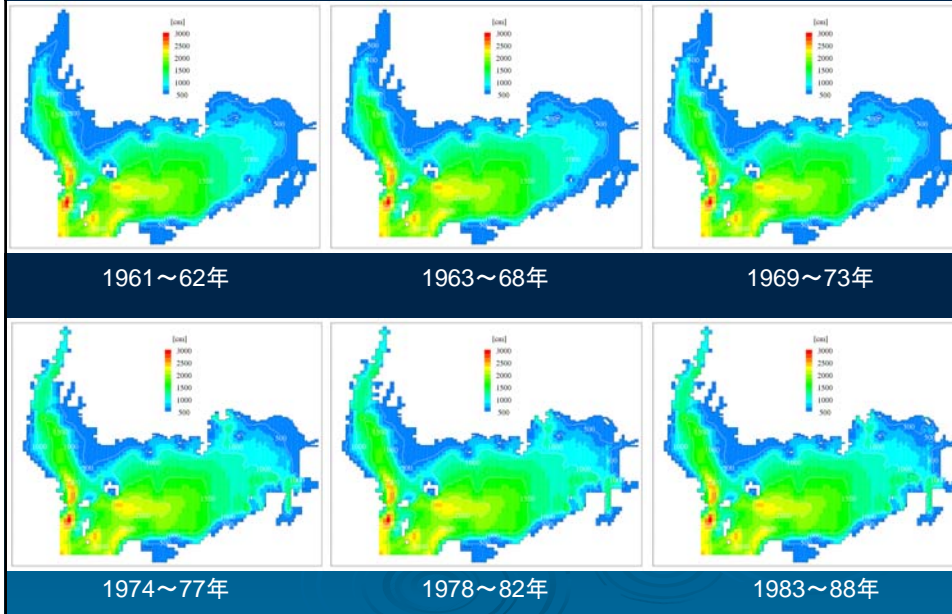
底層の貧酸素水塊が最大時の分布

- 有機物の沈降fluxのピークは8月
- 三河港全体で貧酸素状態

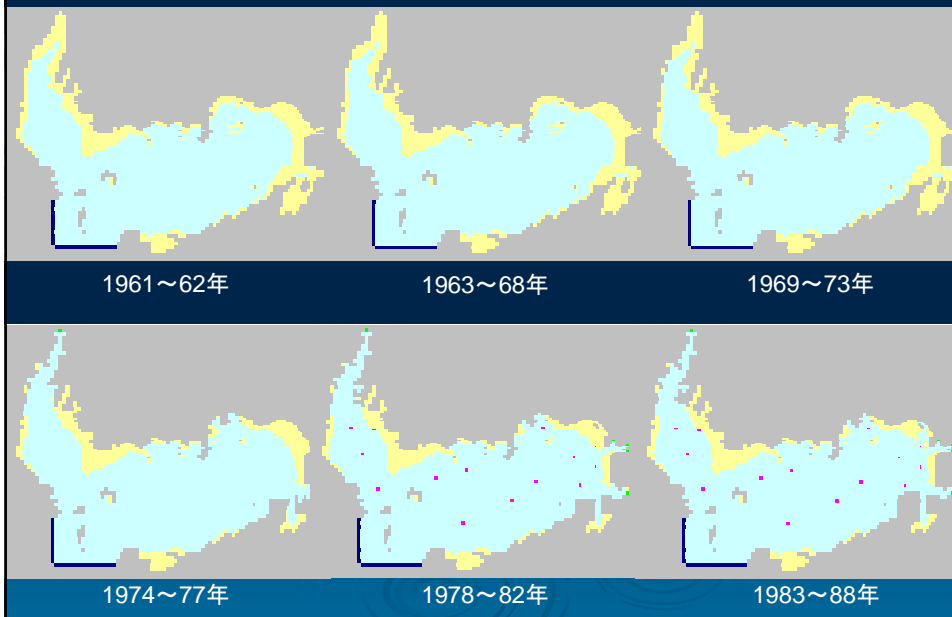
続成過程モデルの結果—2002年—



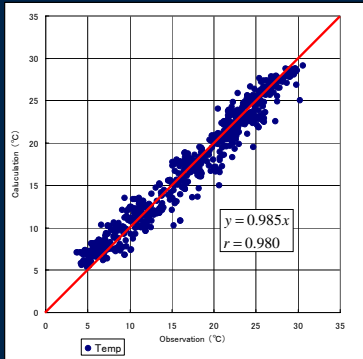
④ 1961～88年の解析結果



④ 1961～88年の解析結果

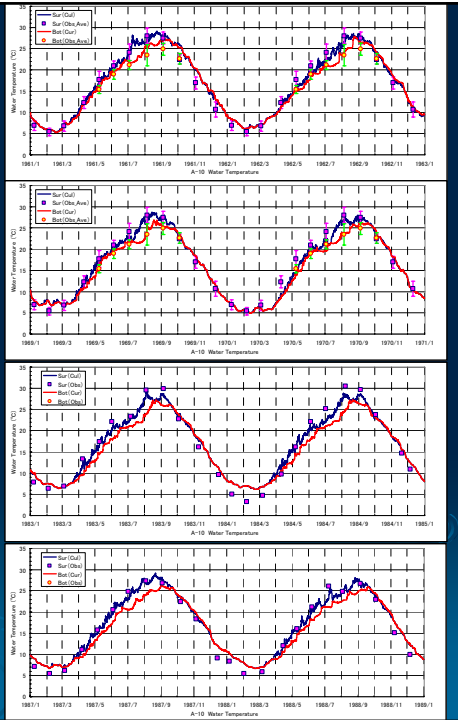


流動モデルの結果



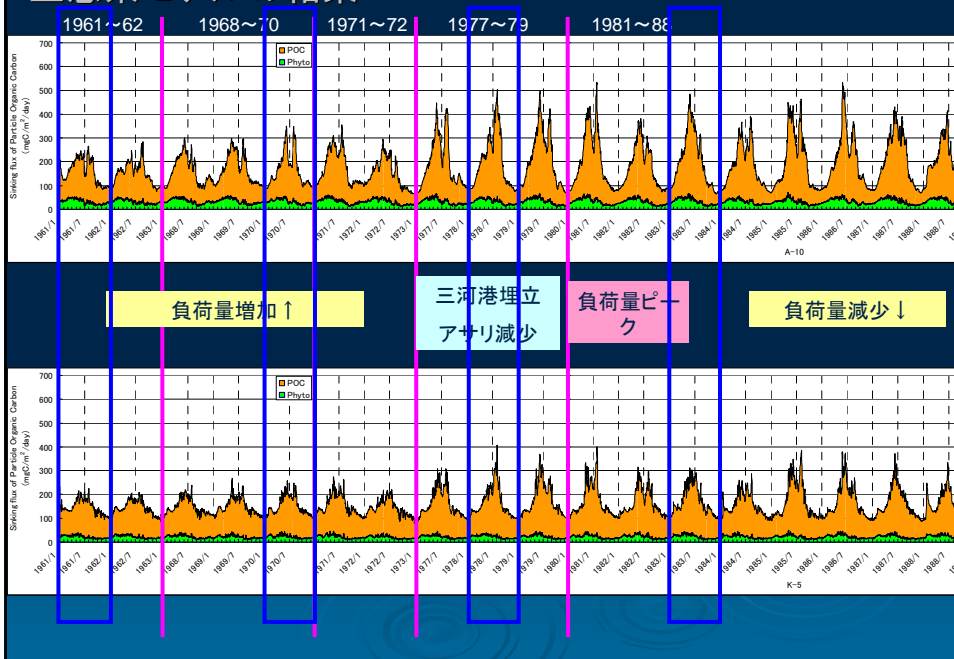
1981年以降の水温の観測値との相関

夏季において
傾向を捉えている



生態系モデルの結果

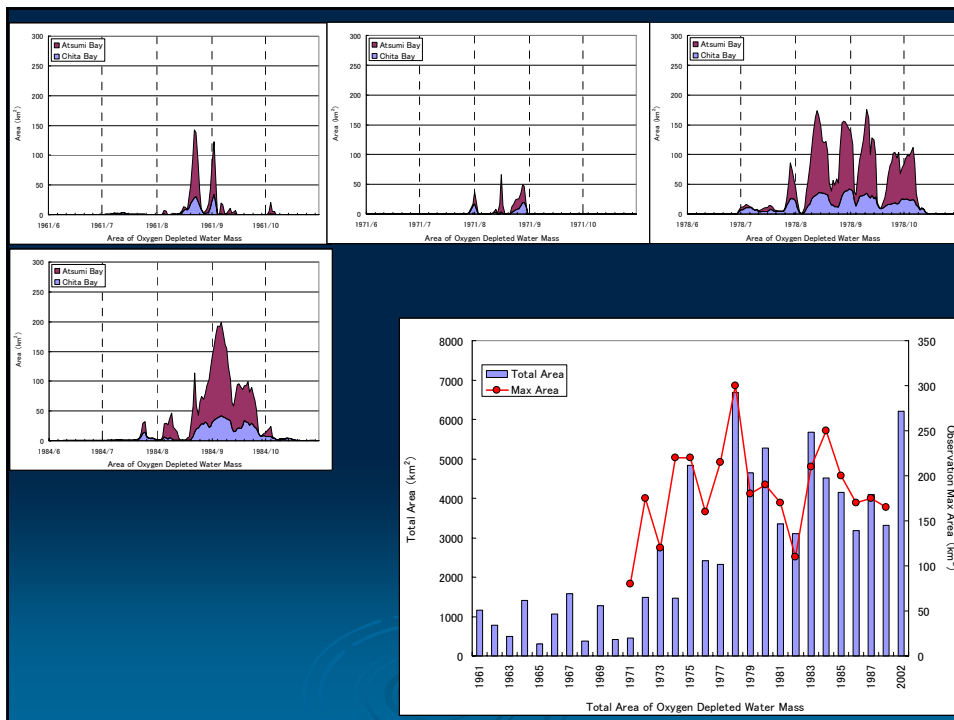
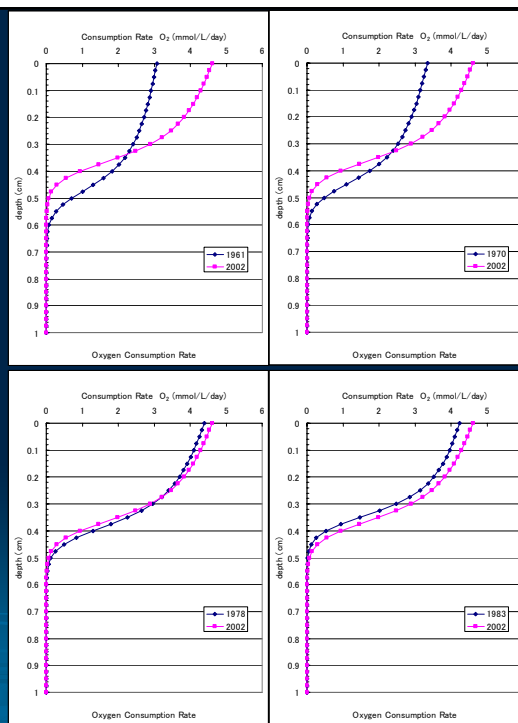
有機物沈降fluxの結果



続成過程モデルの結果

	酸素消費量 ($\text{mgO}_2/\text{m}^2/\text{day}$)	19xx/2002の 比率
1961	379.68	0.83
1970	403.68	0.89
1978	451.60	0.99
1983	403.96	0.89

三河港埋立開始後、酸素消費量も増加

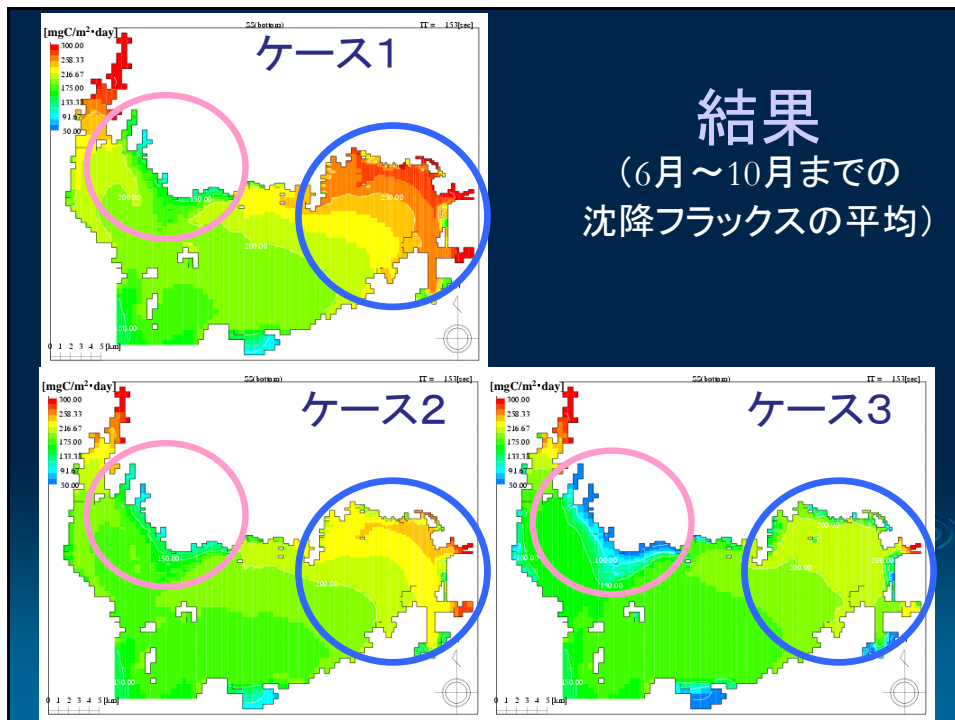


方法と条件

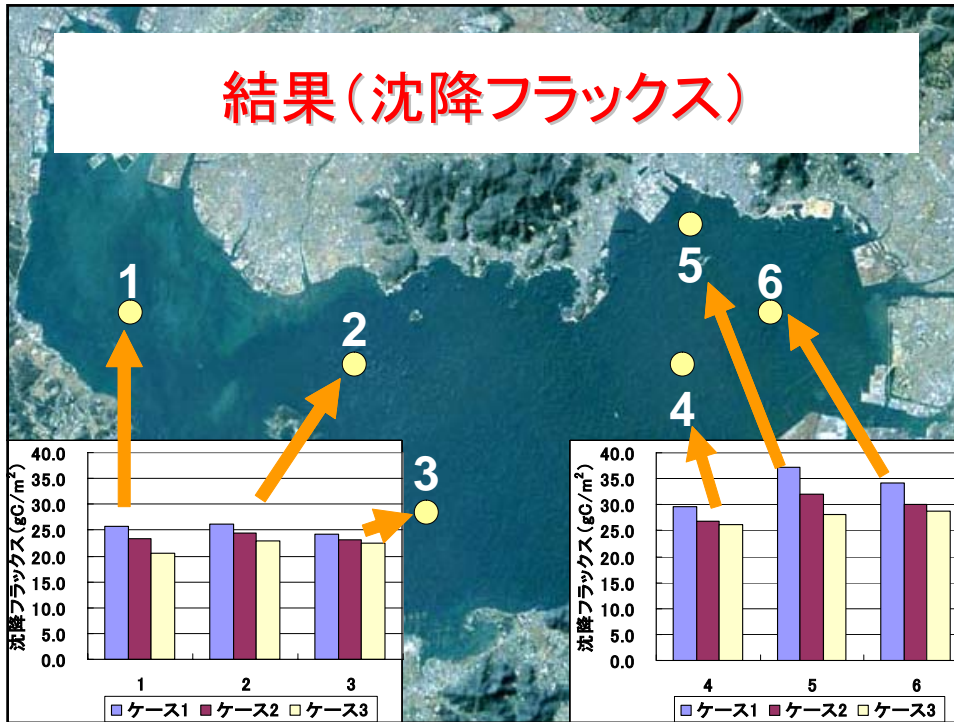
流動解析モデル(COSMOS)、生態系モデル(TROP)用い、以下の条件を計算した。

基準

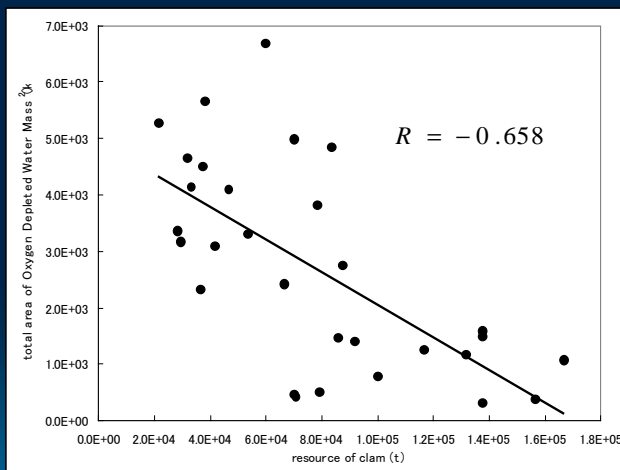
	河川負荷量	貝の現存量
ケース1	2002年	2002年
ケース2	2002年の半分	2002年
ケース3	2002年	2002年の3.5倍 (1961年資源量)



結果(沈降フラックス)



アサリ資源量と貧酸素水塊面積との相関



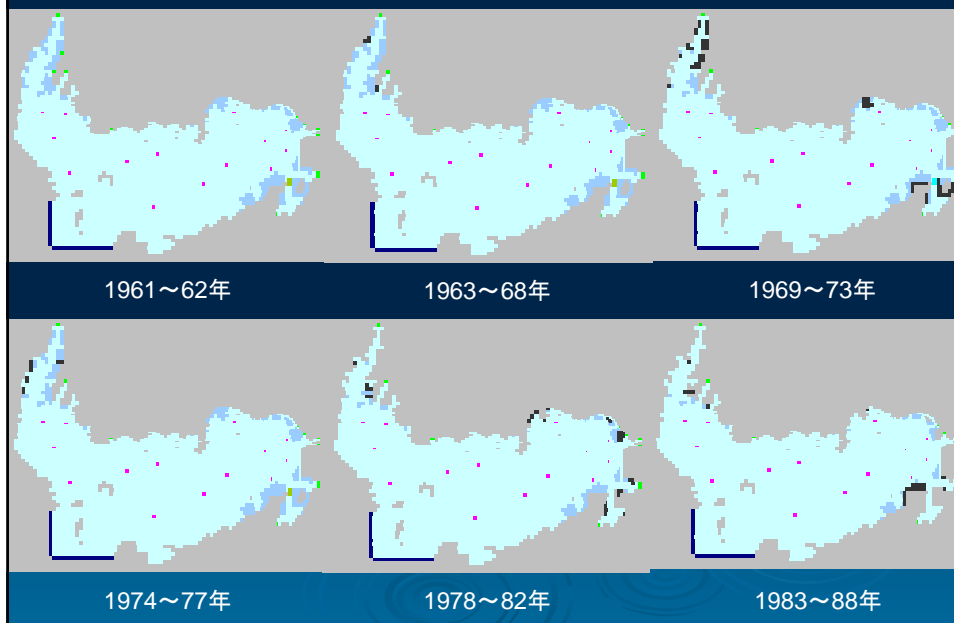
⑤ 結論

- 1970年ごろまでの貧酸素水塊原因は
負荷量の増加と埋立
- 1970年代後半以降の貧酸素水塊は、三河港埋立
による干潟・浅場域の減少 → アサリの減少

理由① 1980年代、負荷量減少後も沈降fluxが減少していない

理由② 一色干潟が近い衣浦港側では、有機物沈降fluxが
それほど増加していない

1961～88年の埋立



植物プランクトン

パラメータ	単位	設 定 値
0 での最大可能成長速度	day ⁻¹	0.590
成長応答の温度係数	- ¹	0.0633
光合成の最適光強度	cal/m ² /day	100
光消散係数	m ⁻¹	0.3428-0.0056・Chla+0.0634・Chla ^{2/3}
リンの最大可能摂取速度	day ⁻¹	36.0
リン吸収の半飽和定数	μ mol/L	0.2
窒素の最大可能吸収速度	day ⁻¹	12.0
NH ₄ -N吸収の半飽和定数	μ mol/L	1.0
NO ₃ -N吸収の半飽和定数	μ mol/L	2.0
NO ₃ -N吸収の制限因子	L/μ mol	1.4
リンクォータの上限	-	12
窒素クォータの上限	-	6
細胞外分泌率	-	0.15・exp(-0.00201・Chla)
呼吸速度	day ⁻¹ , - ¹	0.02・exp(0.0524・T)
0 での枯死速度	day ⁻¹	5.0 × 10 ⁻⁵
枯死応答の温度係数	- ¹	0.0693
沈降速度	cm/sec	1.0 × 10 ⁻⁴
C/Chl-a	重量比	50.0
C/N	重量比	15.9
C/P	重量比	161.3
TOD/C	重量比	3.6

動物プランクトン

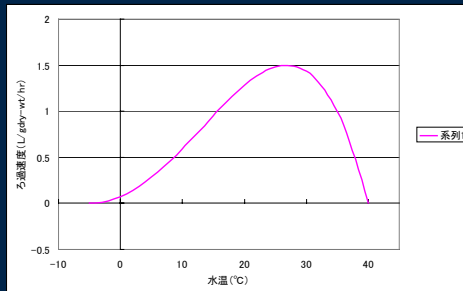
パラメータ	単位	設 定 値
0 での最大可能摂食速度	day ⁻¹	0.03
摂食応答の温度係数	- ¹	0.12
Ivlev定数	m ³ /mgC	0.007
摂食の下限餌量濃度	mgC/m ³	0.0
同化効率	%	70
0 での基礎代謝速度	day ⁻¹	0.017
代謝応答の温度係数	- ¹	0.04
摂食活動に費やす呼吸量	%	30
0 での自然死亡速度	day ⁻¹	1.0 × 10 ⁻⁵
死亡速度の温度係数	- ¹	0.24
C/N	重量比	6.0
C/P	重量比	50.0
TOD/C	重量比	3.31

その他

パラメータ	単位	設 定 値
デトリタス無機化速度	day ⁻¹	0.012・exp(0.0693・T)
デトリタスの生分解割合	%	25
酸素制限の半飽和定数	mgO ₂ /L	0.5
デトリタスの沈降速度	cm/sec	5.787 × 10 ⁻⁴
デトリタスのC/N	重量比	7.2
デトリタスのC/P	重量比	63.9
デトリタスのTOD/C	重量比	3.01
溶存態有機物の無機化速度	day ⁻¹	0.005・exp(0.0693・T)
酸素制限の半飽和定数	mgO ₂ /L	0.5
溶存態有機物のC/N	重量比	10.0
溶存態有機物のC/P	重量比	124.98
溶存態有機物のTOD/C	重量比	2.82
NH ₄ -Nの硝化速度	day ⁻¹	0.002・exp(0.0693・T)
NO ₂ -Nの硝化速度	day ⁻¹	0.035・exp(0.0693・T)
硝化の下限酸素濃度	mgO ₂ /L	0.5
NO ₃ -Nの還元速度	day ⁻¹	0.0015・exp(0.0913・T)

アサリ

パラメータ	単位	設定値
最大濾水速度	L/gdry-wt/hr	1.5
定数b		2.0
最低水温		-5
最高水温		40
呼吸速度	day ⁻¹	8.5886 · exp(0.0693 · T)
活動呼吸の割合	%	20
C/N	重量比	5
C/P	重量比	35
TOD/C	重量比	3.15



ろ過速度の式

$$F = 4 \cdot F_{\max} \cdot \left(\frac{T - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}} \right)^b \cdot \left\{ 1 - \left(\frac{T - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}} \right)^b \right\}$$

呼吸速度の式

$$R_b = R_{p0} \cdot \exp(\beta \cdot T) \quad T \text{は水温} (^\circ\text{C})$$

