

東京湾の生態系 長期変動シミュレーション

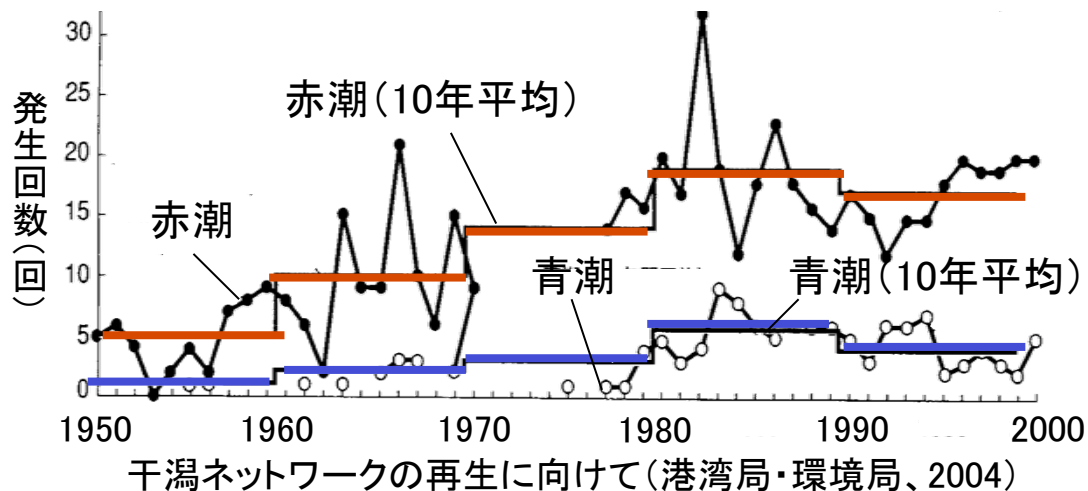
環境システム学専攻 海洋環境システム学研究室
66753 佐々木直美
指導教員 多部田茂准教授

背景

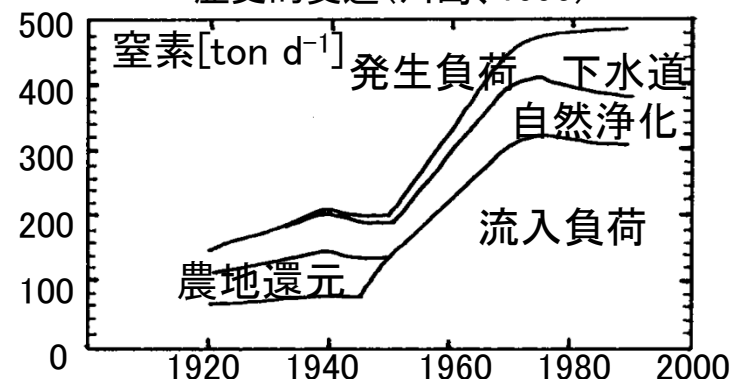
▶ 東京湾の水質

陸域からの物質負荷の増大
 内部生産
 干潟の減少による海域浄化力の低下
 外海との海水交換...

赤潮・青潮の頻発
 COD濃度の上昇



東京湾とその流域における窒素収支の
 歴史的変遷(川島、1996)



東京湾の緒元

| | |
|---------|--------|
| 流域人口 | 2600万人 |
| 埋め立て面積率 | 17.5% |
| 人工海岸率 | 86% |

背景



陸域からの流入負荷規制

1970 水質汚濁防止法
1978 COD総量規制
2001 窒素、リン総量規制

負荷量の削減の割には水質改善の効果が見られない

内部生産寄与率:約4割
溶出量の流入負荷量比:
窒素5%、リン17%
(環境省総量規制委員会)

赤潮・青潮の観測、環境基準達成度横ばい...

内部生産の寄与
底泥からの栄養塩の溶出 ...etc

河川流入以外の水質変化プロセス

▶ 環境再生政策、環境改善事業の実施 (2003 自然再生推進法)

└ 有効性の評価 ─▶

数値シミュレーションの利用 環境改善時のシミュレーション
長期間の水質応答

背景

閉鎖性内湾の水質シミュレーション

- ▶ 東京湾の水質 → 流入負荷量の変化、沿岸地形の改変が水質の悪化、貧酸素化に影響

蔵本・中田(1991)
鈴木ら(1999)
岸ら(1993)
北澤ら(2003)

浮遊系中心

代表的な年を抽出した定常計算

- ▶ 底生系、干潟考慮 → 干潟の浄化能力の評価、湾内水質・貧酸素水塊への影響

中田・畑(1994)
鈴木・畑(1997)
中村ら(2004)
相馬ら(2005)

単純なボックスモデルや干潟域のみ

- ▶ 長期計算(大阪湾) → 河川流入と底泥からの溶出フラックスの重要性

浮田ら(1991)
中辻ら(2003)

目的

人間活動の影響を強く受ける閉鎖性内湾である東京湾を対象として

過去から現在にわたる長期的な生態系の変動を解析する



流入負荷の変動や埋め立ての影響
底質や干潟が与える影響

を定量的に評価

* 主にCOD、溶存酸素濃度に関して考察

越流や植物プランクトンの種の変遷についての検討

- ▶ 浮遊系と底生系間の相互作用や干潟の浄化効果を考慮
- ▶ 連続シミュレーションを行うことで水質・底質環境の連続性を考慮
- ▶ 水質汚濁の始まる前の1940年から2002年までの期間を対象（水質悪化時と水質改善時のシミュレーションを行う）

数値モデル

▶ 物理モデル (MEC-NESTモデル)

デカルト座標系(平均海面上に原点、鉛直上方にz軸)
運動方程式(静水圧近似)、連続の式、移流拡散方程式(水温・塩分)
密度は水温・塩分により決定

▶ 化学・生物モデル(低次生態系)

・浮遊系モデル

動植物プランクトン、非生物有機物、栄養塩類、DO
移流拡散+化学・生物過程

・底生系モデル(堆積物厚さは30cm)

底生珪藻、ベントス、有機物、栄養塩類、硫化物、好気層厚さ
化学・生物過程(物質・生物は定在と仮定)

・浮遊系-底生系間 有機物堆積、栄養塩溶出、ベントスの活動

* 底泥からの栄養塩溶出

* 干潟のモデル化

モデルの新規性

底泥からの溶出量は堆積物内間隙水中栄養塩濃度によって左右されるため、底生系における栄養塩をより詳細に扱う。

▶ 底生系の栄養塩

- ・間隙水中栄養塩濃度を好気層内と嫌気層内の二つを考慮
- ・従来のモデルでは考慮していなかった嫌気層内における活動を考慮
- ・好気層と嫌気層間は拡散と好気層厚さの移動によるやり取り

▶ 底泥からの溶出量

間隙水中栄養塩濃度(好気層)と海底直上水の栄養塩濃度との差で決定

$$(\text{溶出フラックス}) = K_{\text{btm}} \times (\text{PO}_{4\text{-sed}} - \text{PO}_{4\text{-btm}})$$

$$K_{\text{btm}} = r \times 5.0 \times 10^{-3} \times 1.03^{(T-20)}$$

$$r = \begin{cases} 1.0 & (\text{DO} > 5 \text{ mg/l}) \\ \frac{40 - 6 \cdot \text{DO}}{10} & (\text{DO} < 5 \text{ mg/l}) \end{cases}$$

大阪湾泥の実験値(細川ら、1981)を参考

干潟のモデル化

干潟の浄化機能 → 二枚貝による懸濁態有機物除去

▶ 酸素の供給 干潮時に干潟上水の溶存酸素濃度を飽和にする

▶ 懸濁物食性マクロベントスの海水ろ過

干潟域におけるベントスの海水ろ過能力を高く設定

中田・畑(1998)

$$FR = 0.756 \times 10^{-3} \cdot W^{-0.32} \quad [\text{m}^3/\text{mgC}/\text{day}] \quad W: \text{個体重量} [\text{mgC}/\text{ind}]$$

$$\hookrightarrow \alpha_{\text{msf}} = 9.18 \times 10^{-5} \quad [\text{m}^3/\text{mgC}/\text{day}]$$

0°Cにおける
相対ろ過速度

* 通常海域: $\alpha_{\text{msf}} = 4.67 \times 10^{-5} \quad [\text{m}^3/\text{mgC}/\text{day}]$

▶ 系外への除去

東京湾における漁獲高(東京湾環境情報センター)、三番瀬における調査(千葉県、2002)より漁獲・鳥による採餌ともに貝類が主

* 干出・冠水といった流動の変化は表現しない

計算条件

計算領域: 東京湾

計算格子: 23*31*10

格子間隔: 2000m (JODC 500mメッシュより)

計算期間: 1935年~2002年

時間間隔: 60秒

初期条件: 1935年の長期計算より

開境界: 公共用水域水質データより推定

潮汐: 4分潮(M2、K1、S2、O1)

気象: 東京・千葉・横浜の計測値

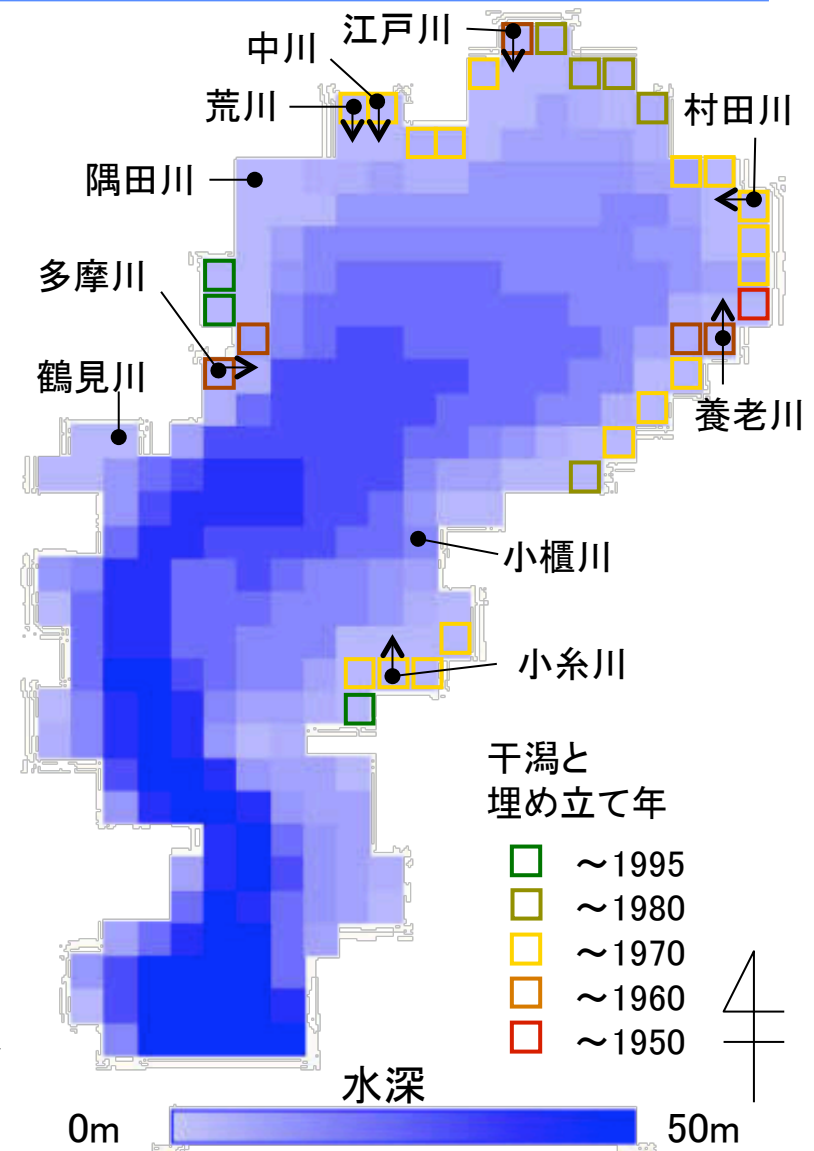
河川: 10河川

流量: 流域への降水+流域外からの取水
(季節変動、流域面積考慮)

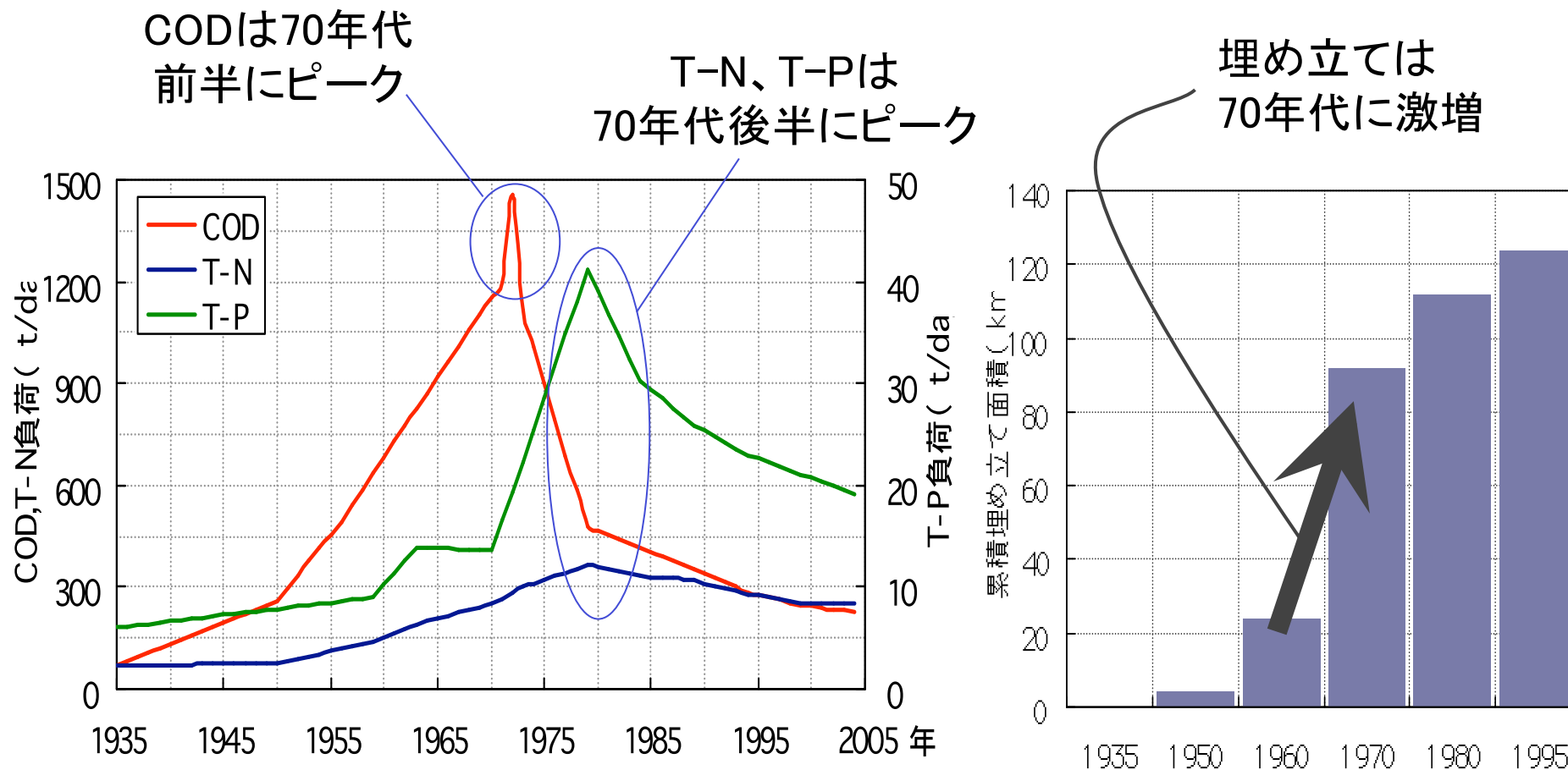
水温・DO: 観測値

その他: COD、T-N、T-Pより推定
(陸域負荷の経年変化を考慮)

漁獲等: 貝類(東京湾環境情報センターより)、
鳥による採餌(三番瀬の調査)

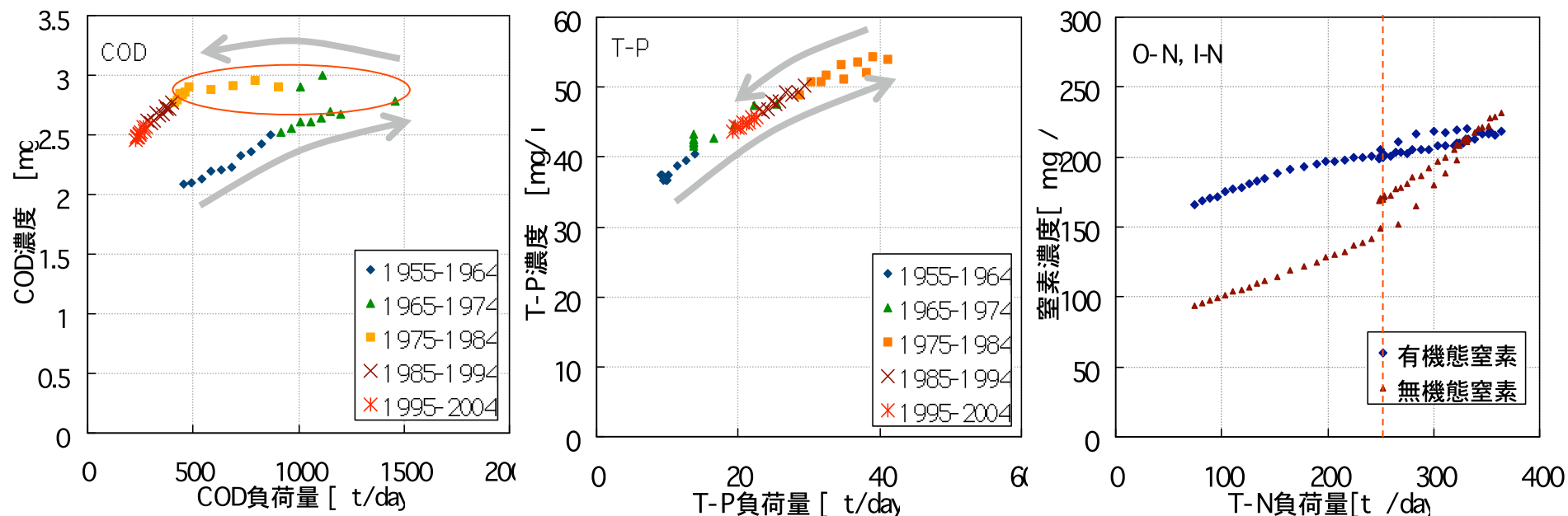


流入負荷・埋め立て面積の変遷



流入負荷は1979年以降は計測値(総量規制委員会、2005)、それ以前は安間らによる推定値・文献値(2006)、1935年の値は北澤らによる推定値(2003)より

流入負荷量と湾内水質の推移



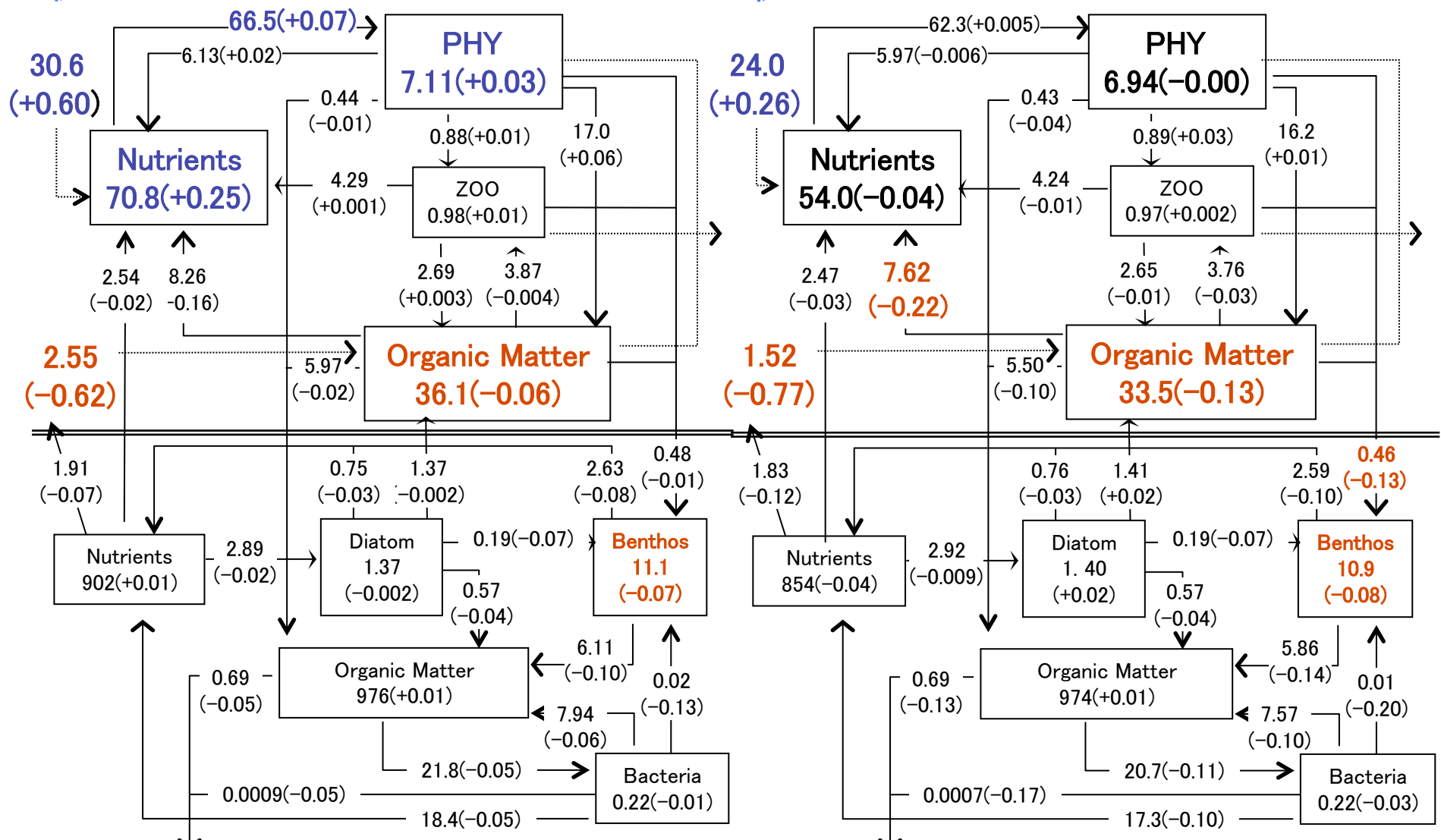
- ・負荷量増加時はCOD、T-P、T-N濃度は線形に増加
- ・T-N負荷量が250t/day超から有機態窒素濃度は飽和、無機態窒素濃度は加速
- ・負荷量減少時はT-P、T-N濃度は低下するもCOD濃度は高いまま維持



無機態窒素の余剰
内部生産による寄与

▶ 1980~1984

▶ 1995~1999



70年代前半から比べて
有機物量減少、栄養塩量保持

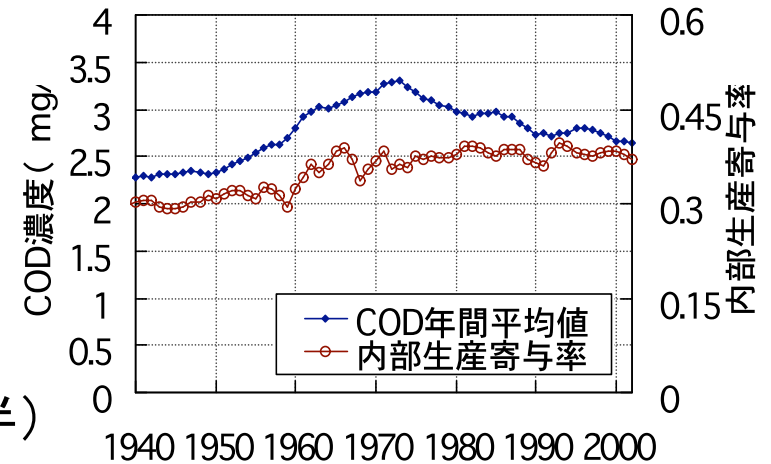
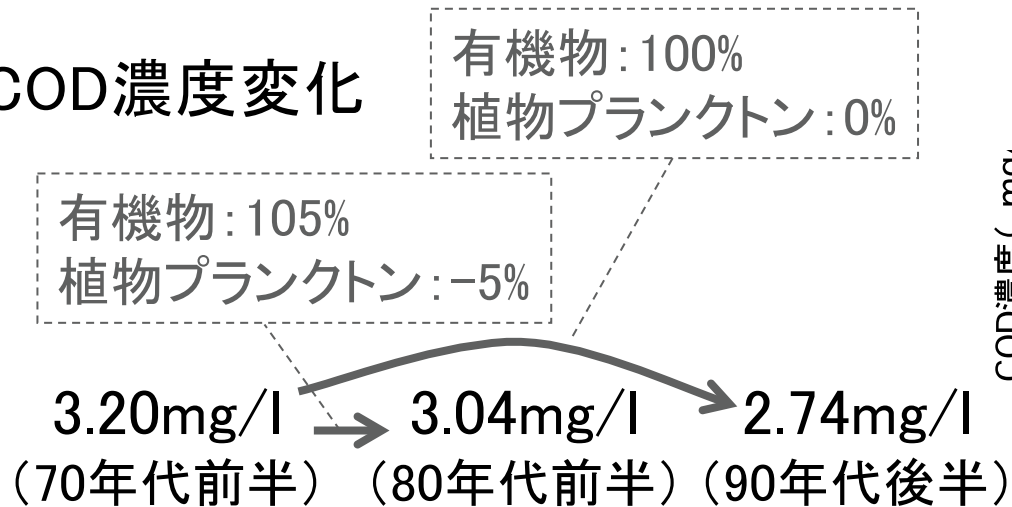
Box: $\times 10^8 \text{gN}$, Flux: $\times 10^7 \text{gN/day}$
括弧内の値は70年代前半からの変化率

総量規制の効果

総量規制



▶ COD濃度変化



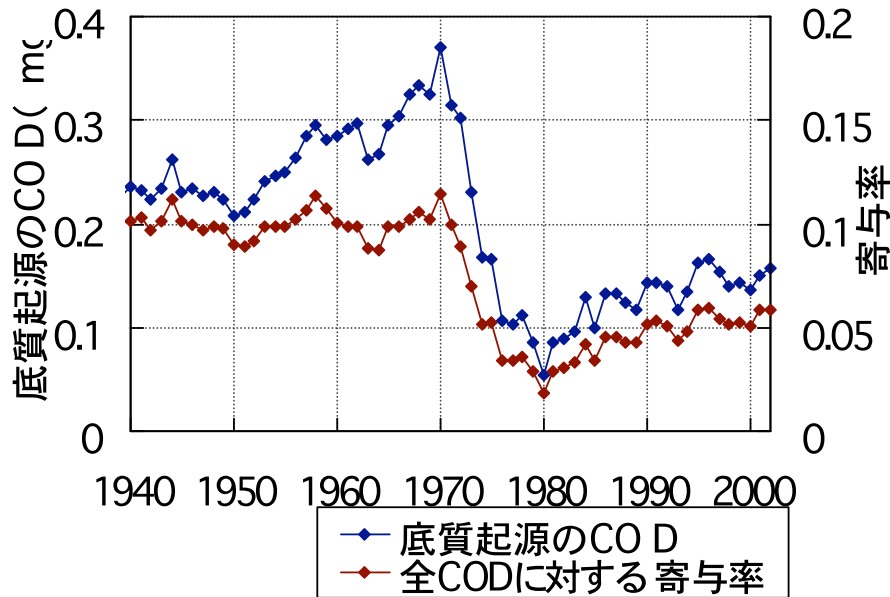
総量規制のCOD濃度に対する効果は有機物量の減少による。

栄養塩量は低下せず内部生産は高いまま

陸域からの流入、底質からの溶出

底質からの影響

▶ 底泥からの栄養塩溶出による湾内栄養塩濃度の上昇

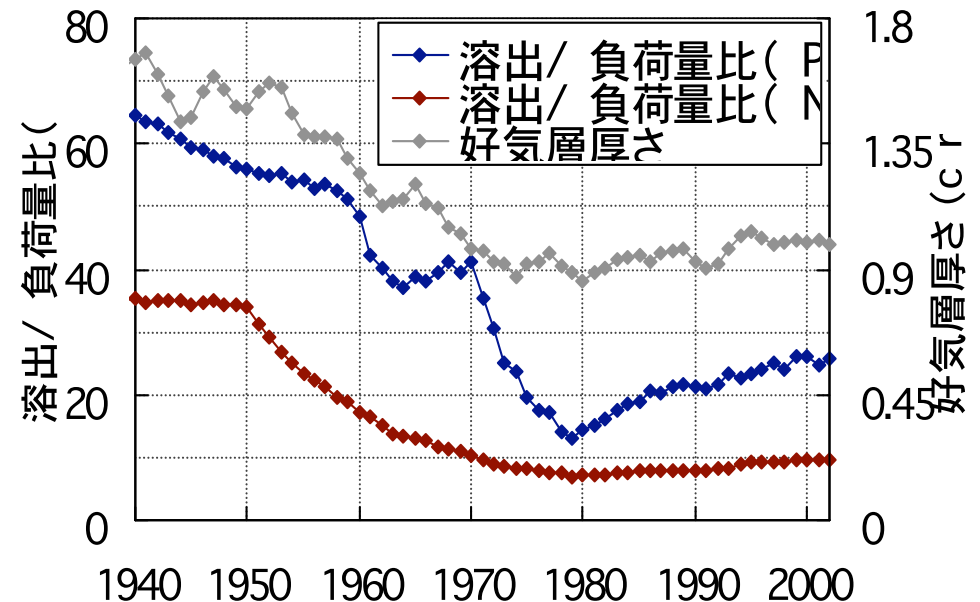


内部生産を通じて
COD濃度上昇

窒素の溶出量は経年的にほとんど変化しないが、リンの溶出量は底層の貧酸素化を受け70年以降高くなっている。

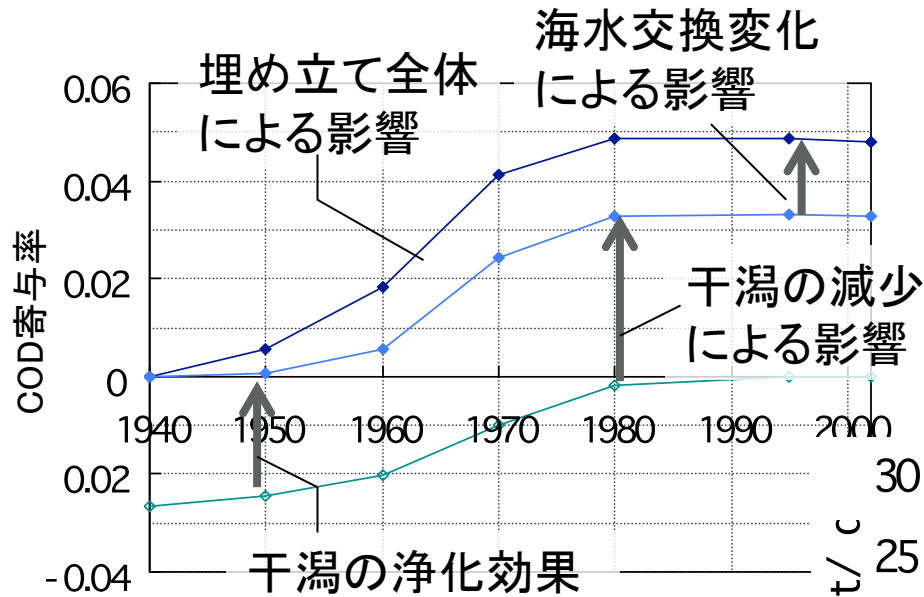
底質からのCOD濃度寄与率
溶出量の流入負荷量比
は80年以降上昇傾向

N、P負荷の総量規制から
底質対策へ



干潟・埋め立ての影響

▶ 海水交換の悪化、干潟の浄化能力の低下による懸濁物の増加

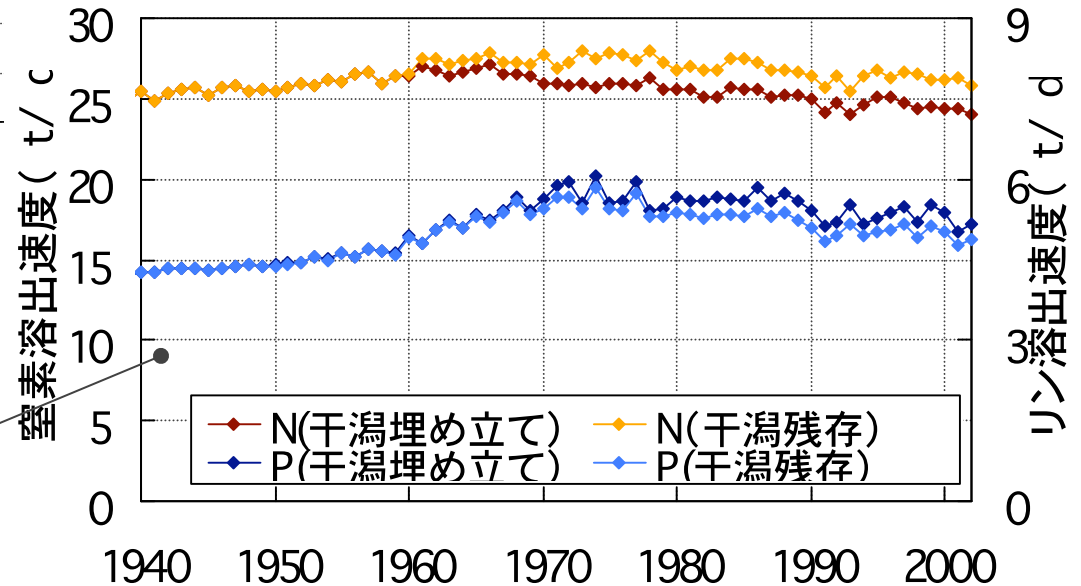


↳ COD濃度の上昇

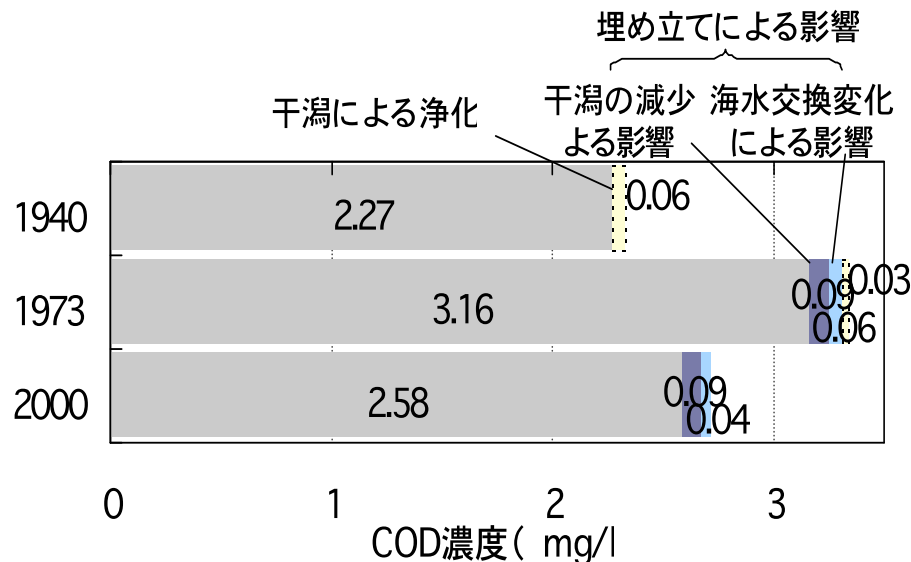
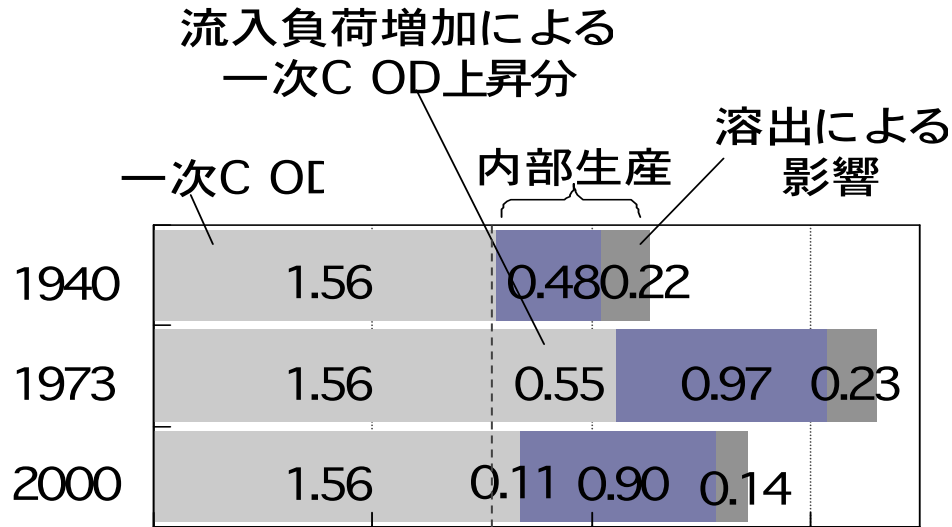
干潟によって湾内リン量は減少、窒素量は増加

↳ 干潟は無機化の役割を果たしている

過去の干潟が残存していたら
リンの溶出抑制
(貧酸素化軽減による)
窒素の溶出増加
(底質の生物活動の活性による)



東京湾COD濃度



▶ COD濃度の変化

流入負荷の増加: +35%
(1940→1973変化)

流入負荷の削減: -15%
(1973→2000変化)

一次CODの削減が主
二次CODの削減はわずか

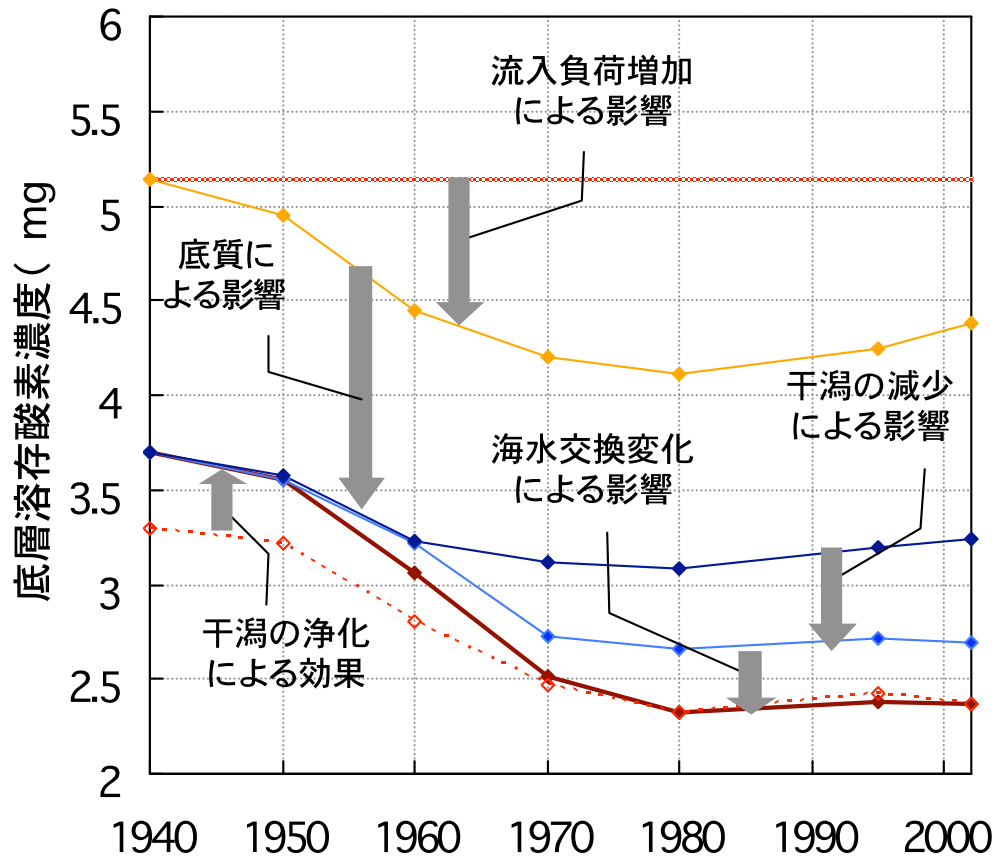
内部生産の削減へ



高度処理の導入
底質対策

COD濃度を指標として見たとき
埋め立てによる影響は小さい

底層溶存酸素濃度



▶ 東京湾の貧酸素化

流入負荷の影響

80年代: 約20%

現在: 約15%

埋め立ての影響: 約16%

- ・底層の貧酸素化は改善されていない。
- ・沿岸部の埋め立てが総量規制による効果を相殺。

- DOを指標としてみると干潟の寄与は大きい
- 貧酸素化の改善には海域浄化力の再生が効果あり

結論

- ▶ 東京湾の生態系の長期計算を行い、環境悪化時と改善時の水質変化のメカニズムについて考察した。
 - ・流入負荷による一次汚濁型から内部生産による二次汚濁型へと変化
 - ・底質からの寄与率の上昇
- ▶ 流入負荷や埋め立ての湾内水質に対する影響を定量的に評価した。
 - ・COD指標で見ると流入負荷の影響が2～3割、溶出による影響が0.5～1割弱と負荷の影響が大きい。現在では内部生産の寄与が大きい。
 - ・DO指標で見ると底質と干潟による影響が3割と大きい。流入負荷の削減による貧酸素化の解消を埋め立てが妨げている。
- ▶ 今後は、更なるモデルの詳細化と再検討が必要。
 - ・植物プランクトンの死亡のモデル化に検討の余地
 - ・底生系モデルのパラメータの推定