

## 今後の瀬戸内海の水環境の在り方懇談会資料

【発表者：水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所環境動態研究室 室長 樽谷 賢治】

| 項 目                       | 内 容  |
|---------------------------|--|
| 1.発表テーマ                   | 瀬戸内海における水産業の課題と水産業から見た今後の水環境 の在り方  |
| 2.課題                      | <p>・瀬戸内海における近年の漁業・養殖生産の低迷は極めて深刻。</p> <p>・栄養塩環境の変化（貧栄養化）が生態系の変化をもたらし、瀬戸内海の漁業・養殖生産の減少、低迷につながっている可能性を示唆するデータが蓄積されつつあるが、このような生態系の変化（ボトムアップ効果）が漁業・養殖生産の低迷の主たる要因であると結論づけるまでには至っていない。</p>                                   |
| 3.対応(提案)                  | <p>・中長期的には、食物網の構造と食物網を通した物質循環過程の現状を定量的に把握することが必要。</p> <p>・一方で、短期的に効果が期待されるような技術開発にも取り組むのが理想的。しかし、実際に有効な方策の提案までには至っていない。</p> <p>・瀬戸内海において、水産業が直面している状況を正確に発信するとともに、水産業を含めた瀬戸内海の将来像について、地域住民の合意形成を図るような取り組みが極めて重要。</p> |
| 4.今後の瀬戸内海<br>の方向性につ<br>いて | 瀬戸内海の水質に関する環境施策、水産業ともに大きな転換期を迎えているものと考えられる。両者（環境 or 水質保全と漁業・養殖業の持続性の維持）を相反するものにとらえず、「生態系の健全性」をキーワードに自然科学、社会科学分野の垣根を越えて、瀬戸内海の在るべき姿を考えていくことが重要である。   |

\* 上記の内容で各分野における内容を説明していただき、懇談会委員と意見交換を行う。

今後の瀬戸内海の水環境の在り方懇談会(第1回)  
平成22年9月3日(金) 13:00~17:00  
航空会館 B101会議室  
(2)有識者からのヒアリング及び意見交換

## 瀬戸内海における水産業の課題と 水産業から見た今後の水環境 の在り方

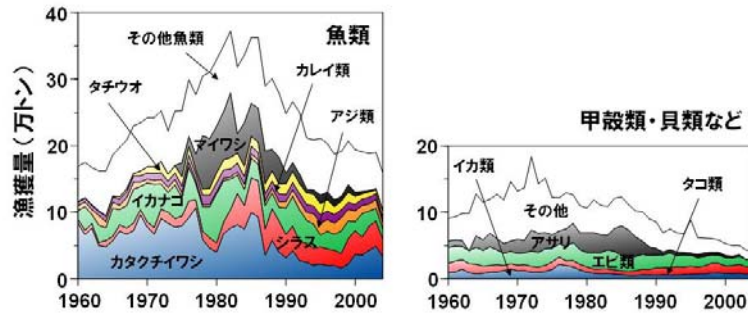
水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所  
樽谷 賢治

### 話題提供の概要

- ① 瀬戸内海における水産業の現状と課題  
(水環境の視点を中心に)
- ② 課題の解決に向けた取り組み, 対応策  
(研究面からの取り組みを中心に)
- ③ 水産業から見た今後の瀬戸内海の水環境の  
在り方(個人的な考え, 意見を中心に)

- ① 瀬戸内海における水産業の現状と課題
  - ◎ 瀬戸内海における漁業・養殖生産の現状
  - ◎ 瀬戸内海における環境変動の現状
  - ◎ 瀬戸内海における水産業の課題  
(環境変動の視点から)

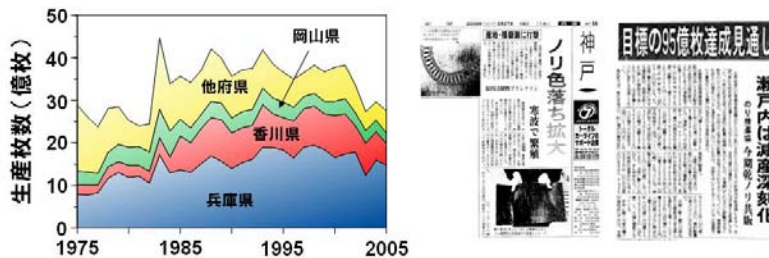
## ◎瀬戸内海における漁業生産量(漁獲量)の推移



瀬戸内海における魚種別漁獲量の推移  
(中国四国農政局統計情報部「瀬別漁獲統計」を基に作成)

◎瀬戸内海における総漁獲量は1970年代後半～1980年代前半をピークに減少傾向。特に近年の減少が顕著。

## ◎瀬戸内海における養殖生産の現状



瀬戸内海におけるノリ生産枚数の推移  
(中国四国農政局統計情報部「瀬別漁獲統計」を基に作成)

◎瀬戸内海における養殖生産量についても、2000年代以降のノリ養殖を中心に減少傾向。

## ◎瀬戸内海への汚濁負荷量の推移

◆ 高度経済成長に伴い、1960年代半ばから富栄養化に起因する問題が発生

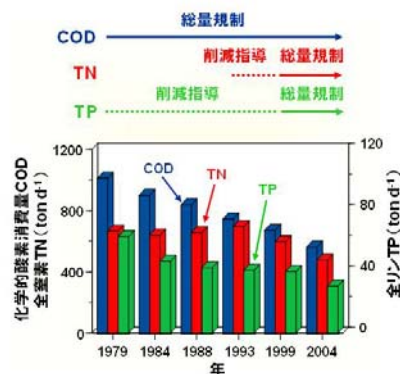
貧酸素水塊の形成、赤潮の頻発

◆ 1973年に瀬戸内海環境保全臨時措置法(後に特別措置法)が施行

化学的酸素要求量(COD)の総量規制、窒素・リンの排出削減指導、総量規制

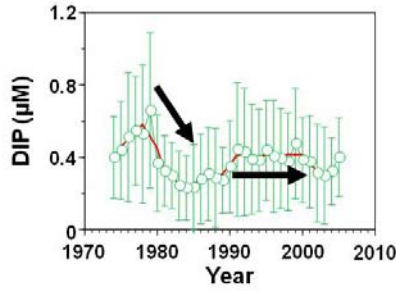


◎陸域からのCOD、窒素、リン負荷量は減少



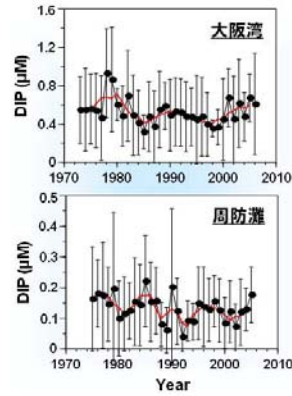
瀬戸内海への汚濁負荷量の推移  
(環境省「発生負荷量管理等調査結果」を基に作成)

### ◎瀬戸内海における溶存態無機リン濃度の推移



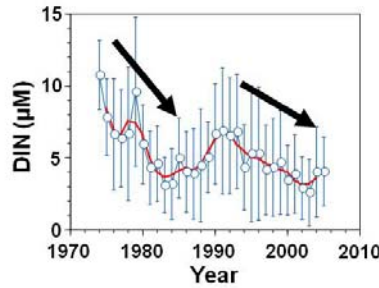
播磨灘北部海域表層における溶存態無機リン (DIP) 濃度(年平均値)の経年変化。赤線は3ヶ年移動平均。

- ◎1980年代前半に急激に減少
- ◎1980年代半ば以降、横這い



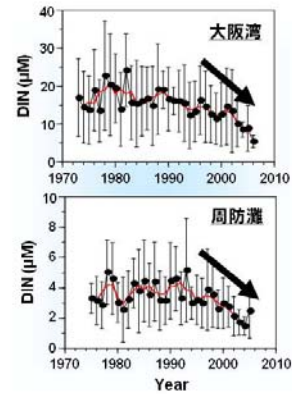
大阪湾および周防灘表層における溶存態無機リン (DIP) 濃度(年平均値)の経年変化。

### ◎瀬戸内海における溶存態無機窒素濃度の推移



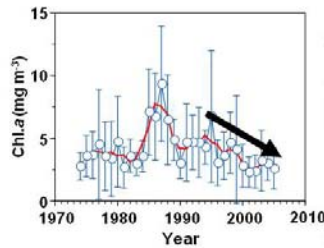
播磨灘北部海域表層における溶存態無機窒素 (DIN) 濃度(年平均値)の経年変化。赤線は3ヶ年移動平均。

- ◎1970年代に急激に減少
- ◎1990年代前半以降、漸減傾向



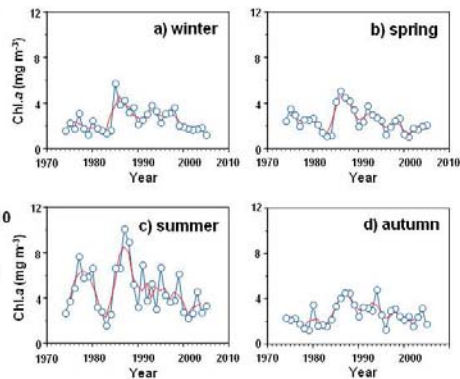
大阪湾および周防灘表層における溶存態無機窒素 (DIN) 濃度(年平均値)の経年変化。

### ◎瀬戸内海におけるクロロフィルa濃度の推移



播磨灘北部海域表層におけるChl.a濃度の経年変化。赤線は3ヶ年移動平均。

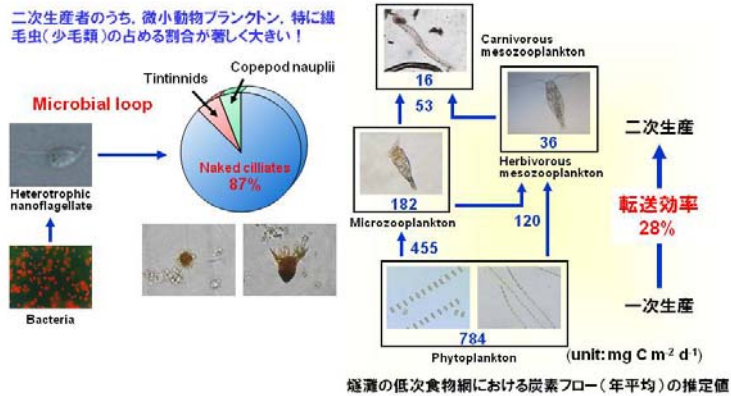
- ◎1990年代前半以降、漸減傾向



播磨灘北部海域表層におけるChl.a濃度の経年変化。赤線は3ヶ年移動平均。a) 冬季(1~3月), b) 春季(4~6月), c) 夏季(7~9月), d) 秋季(10~12月)。

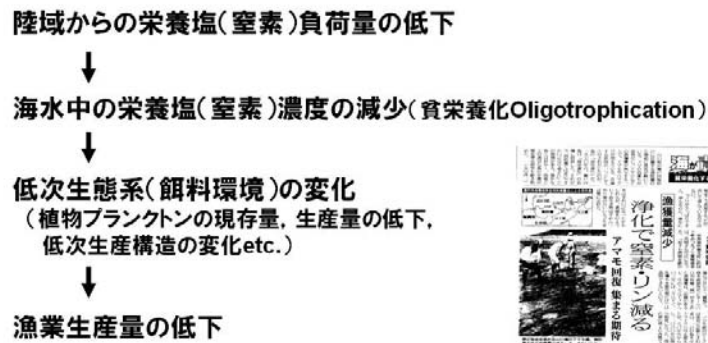
### ◎近年の燧灘における低次生産構造

二次生産者のうち、微小動物プランクトン、特に繊毛虫(少毛類)の占める割合が著しく大きい!



- ◎近年の燧灘では微生物食物網(microbial loop)が卓越している?
- ◎一次生産(植物プランクトン)から二次生産への転送効率は低下している?

### ◎瀬戸内海における環境変動の現状と漁業・養殖生産量の低下



◎貧栄養化によるボトムアップ効果

### ◎沿岸・内湾域における漁業(養殖)生産の低下をもたらす要因

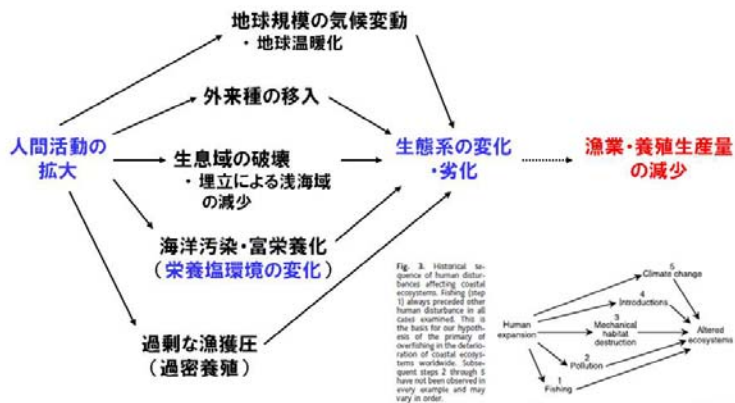
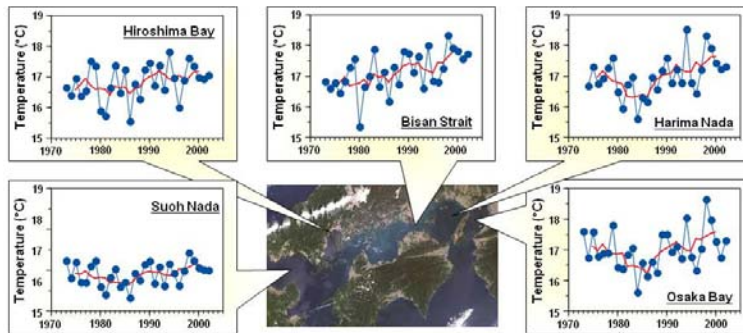


Fig. 3. Historical sequence of human disturbances affecting coastal ecosystems. Fishing (step 1) always preceded other human disturbance in all cases examined. This is the basis for our hypothesis of the primacy of overfishing in the deterioration of coastal ecosystems worldwide. Subsequent steps 2 through 5 have not been observed in every example and may vary in order.

(Jackson et al. 2001 をもとに作成)

## ◎瀬戸内海における近年の水温上昇

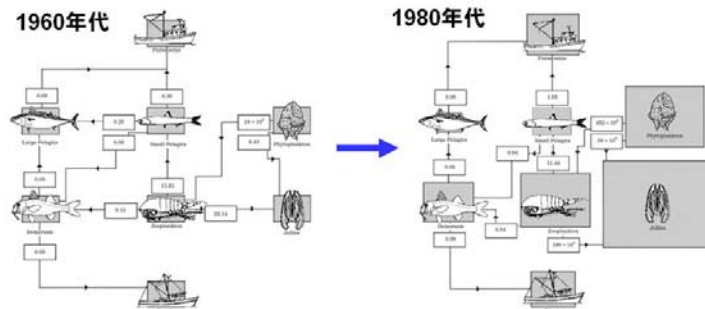


瀬戸内海的主要な海域における水温の経年変化  
(水深10 m層の年平均値, 赤線は3ヶ年移動平均)

◎瀬戸内海の水温は近年(1990年代以降)上昇傾向にある  
(特に冬季水温の上昇が顕著に見られる)

## ◎過剰な漁獲圧が生態系に及ぼす影響

\* 黒海におけるクシクラゲの大発生と漁獲量の低下



Food-webs of the Black Sea and the mass transfer between different components during the 1960s, 1980s (Gucu 2002).

◎ 漁獲圧の増加がクシクラゲ類の大量発生をもたらした  
主たる要因である!

## ① 瀬戸内海における水産業の現状と課題 ～まとめ～

- ◎ 瀬戸内海における近年の漁業・養殖生産の低迷は極めて深刻。
- ◎ 栄養塩環境の変化(貧栄養化)が生態系の変化をもたらし、瀬戸内海の水産物の減少、低迷につながっている可能性を示唆するデータが蓄積されつつある。
- ◎ ボトムアップ効果が漁業・養殖生産の低迷の主たる要因であると結論づけるまでには至っていない。

## ② 課題の解決に向けた取り組み, 対応策

- ◎ 瀬戸内海における物質循環過程の解明
- ◎ 生態系モデルの構築とその有効活用
- ◎ 短期的な効果を目指した技術開発
- ◎ 漁業者間, 地域住民との合意形成

### ◎ 瀬戸内海における物質循環過程の解明

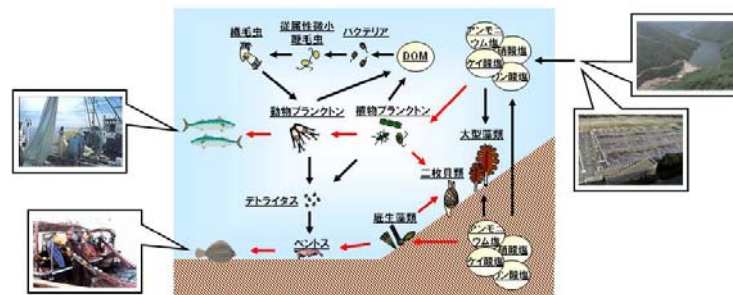
\*なぜ, 物質循環の解明が必要か？

食物網を通した“モノの流れ”が

- ・ 太い
- ・ 円滑である
- ・ 堅牢（安定的）である



持続可能で高い  
漁業生産



### ◎ 瀬戸内海における物質循環過程の解明

\* 想定される研究テーマ

- ・ 食物網構造および食物網を通した物質循環過程の定量的把握
- ・ 陸域からの栄養塩負荷の変動が食物網構造および物質循環過程に及ぼす影響の定量的評価
- ・ 物質循環を生態系レベルで包括的に評価可能な総合指標の構築 . . .



◎ 水産総合研究センターにおいても, 関係する府県試験研究機関や大学等と協同し, 複数の水産庁事業やプロジェクト研究を提案, 実施中

## ◎ 内湾域を対象とした生態系モデルの構築とその活用

\* 生態系モデルは、生態系の応答を定量的に評価するうえで有効なツール

\* 内湾域を対象とした生態系モデルの開発状況

- 栄養塩、植物プランクトン、動物プランクトンなど、低次生態系を対象としたものについては既往のモデルが多数存在。
- 水産総合研究センターにおいても、沿岸周辺域を対象とした高解像度の生態系予測システムの開発に向け、モデルの構築および精度向上に取り組み中

## \* NRIFE-MODELの概要

### ▼ 流動場

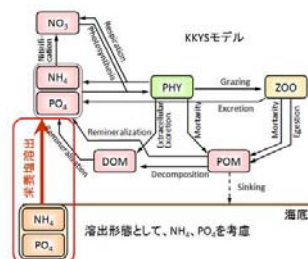
POM (Blumberg and Mellor, 1987)

海域の外洋・陸水の影響、湧昇現象、気象による流れ・熱交換

### ▼ 低次生態系

KKYSモデル(Kawamiya et al, 1995)  
にリンのコンパートメントを追加

動・植物プランクトンの応答、河川の土砂や植物・動物プランクトンの沈降量、魚類等の浮遊幼生拡散・集積・着底など



## \* 魚類などの高次生物の動態を扱うには・・・

### Ecopath with Ecosim (EwE)

水圏および陸圏生態系を対象とした生態系モデルを構築するためのオープンソース・ソフトウェア([www.ecopath.org](http://www.ecopath.org))

- 低次～高次に至る生態系全体をモデル化
- 3つのパッケージ(ツール群)から構成
  - Ecopath・・・平衡状態モデルを用いて、資源量や各要素間の相互作用等のスナップショットを推定するパッケージ
  - Ecosim・・・Ecopathで得られた結果を基に、時間的な漁業の変化と環境の変化が生態系に与える影響を評価するためのモジュール
  - Ecospace・・・Ecopath, Ecosimを拡張し、空間的な評価を行うためのモジュール





## \*生態系モデルの精度向上を図るには・・・

### ◎モニタリングの重要性

モニタリングは環境の現況を把握するとともに、シミュレーションモデル(生態系モデル)による予測の不確実性を検証する唯一の手段。

### ◎基盤的研究の充実

- ・ 漁業資源量の把握
- ・ 被食-捕食関係の把握

### ◎ 短期的な効果を目指した技術開発

\*中長期的な取り組みを中心に、短期的な効果が期待されるような技術開発にも取り組んでいくことが理想的。

- ノリ漁場における施肥
- 河川水の有効利用  
ダムからの放流
- 複合養殖  
魚類養殖+海藻類養殖
- 人口湧昇流構造物の設置
- 藻場・干潟の造成
- 種苗放流 . . .

\*対処療法にとどまらず、かつ漁業者以外の理解を得られる手法を提示することが必要。

### ◎ 漁業者間、地域住民との合意形成

#### \*広報活動の重要性

- ・ 瀬戸内海における漁業、養殖業の現状
- ・ モニタリング調査の重要性

#### \*合意形成の必要性

- ・ 瀬戸内海における漁業、養殖業の将来像  
(目標とする漁獲量、養殖生産量)
- ・ 瀬戸内海の将来像

## ② 課題の解決に向けた取り組み, 対応策 ～まとめ～

- ◎ 中長期的には, 食物網の構造と食物網を通じた物質循環過程の現状を定量的に把握することが必要。
- ◎ 一方で短期的に効果が期待されるような技術開発にも取り組むのが理想的。実際に有効な方策は・・・。
- ◎ 瀬戸内海において, 水産業が直面している状況を正確に発信するとともに, 水産業を含めた瀬戸内海の将来像について, 地域住民の合意形成を図るような取り組みが極めて重要。

## ③ 水産業から見た今後の瀬戸内海の水環境の在り方

- ◎ キーワードは“生態系の健全性”
- ◎ “健全な生態系”と持続的な漁業生産は両立するか？
- ◎ 総合的な水産資源・漁業の管理のあり方

### ◎ キーワードは“生態系の健全性”

\* 瀬戸内海の水質に関する環境施策については, 富栄養化対策からの発想の転換が必要



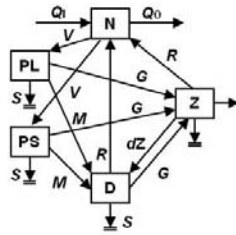
\* 水産業(漁業・養殖業)についても, 現状の瀬戸内海の生態系構造に見合った漁業・養殖形態の変換が必要

**生態系の“健全性”に立脚した対策を講じることが漁業・養殖生産の持続性の維持につながる！**

- ◎ 生態系の“健全性”とは？
- ◎ 生態系の“健全性”を表す指標は？

## \* 栄養塩負荷量と転送効率との関係

▼ 解析に用いた生物モデル (N-PL-PS-Z-D model; Kemp et al. 2001)

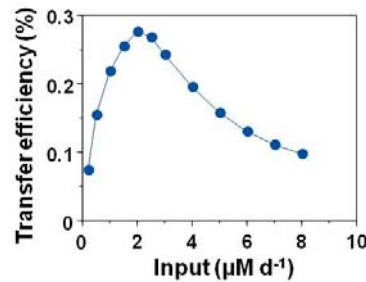


- N: 栄養塩
- PL: 大型植物プランクトン
- PS: 小型植物プランクトン
- Z: 動物プランクトン
- D: デトリタス
- V: 栄養塩取り込み(増殖)速度
- G: 捕食速度
- R: 呼吸(排泄)速度
- M: 死亡率
- S: 沈降速度
- $Q_i$ : 流入速度
- $Q_o$ : 流出速度 (単位は  $\mu\text{mol l}^{-1} \text{d}^{-1}$ )

解析に用いたモデルの基本式

$$\begin{aligned} dN/dt &= R_z + R_s + R_l + R_D + Q_{i,N} - V_L - V_S - Q_o \\ dD/dt &= M_L + M_S + M_Z + Q_{i,D} + dZ - G_D - R_D - Q_o - S_D \\ dPL/dt &= V_L + Q_{i,L} - M_L - G_L - R_L - Q_o - S_L \\ dPS/dt &= V_S + Q_{i,S} - M_S - G_S - R_S - Q_o - S_S \\ dZ/dt &= G_L + G_S + G_D + Q_{i,Z} - M_Z - R_Z - Q_o - dZ \end{aligned}$$

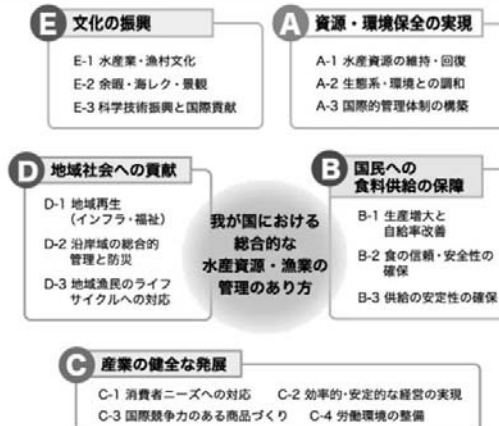
## \* 定常条件下での栄養塩負荷量と植物プランクトンから動物プランクトンへの生産量の転送効率との関係



定常条件下における窒素負荷量と植物プランクトンから動物プランクトンへの生産量の転送効率との関係 (モデルによる推定結果)

- ◎ 生態系の健全性を表す指標には様々な候補が提案されており、瀬戸内海の将来像に即した指標を同定・提案することが研究者の大きな役割

## ◎ 総合的な水産資源・漁業の管理のあり方



「水産総合研究センター(2009):わが国における総合的な水産資源・漁業のありかた(最終報告)」より抜粋