

修士論文

北浦の優占藻類遷移の  
生態系シミュレーション

東京大学大学院 新領域創成科学研究科  
環境システム学専攻

86659 國料尚貴  
指導教員 多部田茂 准教授

発表項目

1. 背景と目的

2. 数値モデル

3. モデルの検証

4. 汚濁負荷が北浦の水質に与える影響

5. 優占藻類の遷移理由の考察

6. 有害藻類の対策の検討

7. 結言

## 背景～対象

### 北浦

- ▼茨城県南東部に位置する南北に細長い湖で水道用水や工業用水として利用されている。
- ▼COD濃度は高い(平成19年度以降ワースト2位)
- ▼巴川、鉾田川より高濃度の栄養塩が流入しており「鉾田川流域における流出水対策推進計画」により対策が採られている。
- ▼洪水対策や塩害防止のため常陸川水門が設置されている。
- 水門操作の影響で西浦の湖水が逆流し、北浦の水質に影響を与えていると考えられる。



図1:北浦

## 背景～優占藻類の遷移

表1:北浦の優占藻類

| 年    | ～1986               | 1987～1998              | 1999～2007          | 2008～                  |
|------|---------------------|------------------------|--------------------|------------------------|
| 優占藻類 | 藍藻類<br>Microcystis属 | 糸状藍藻類<br>Planktothrix属 | 珪藻類<br>Cyclotella属 | 糸状藍藻類<br>Planktothrix属 |

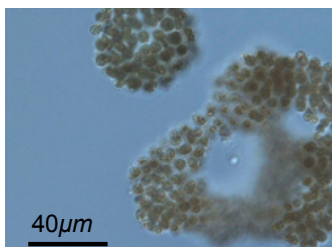


図2: Microcystis



図3: Planktothrix

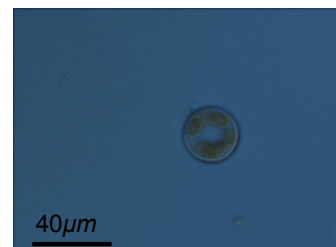


図4: Cyclotella

- ▼Microcystisはミクロキスチンと呼ばれる肝臓毒を持つため、魚に悪影響を及ぼし北浦の漁業に被害をもたらした。
  - ▼Planktothrixはカビ臭を有するため、水道用水に混入するとカビ臭除去のための対策が採られている。
- このように北浦では、優占藻類種の遷移に伴った様々な問題が発生している。

## 背景～既往研究

### 遷移の理由

栄養塩濃度、N/P比、日射、水温、動物プランクトンからの捕食圧、混合状態・・・

### 観測・培養実験

石川ら(2003)

中原ら(2003)

N.Fujimoto et al.(1996)

高村ら(1988)



複数の影響を評価するのは難しい  
特定の要素を抽出した実験

### 数値計算

武村ら(2007)

藤本ら(1999)

小川ら(1993)



特定の季節や要素を抽出した計算  
藍藻や珪藻といった大まかな分類での計算

※実際の湖で発生している優占種の遷移はこれらの環境要因が相互に影響しており、単一の環境要因では説明できないことが多い。

※モデルを高精度化するために、特定の種を対象にしたモデルが必要。

## 目的

- ▼複数の環境要因を考慮し、北浦の優占藻類である Microcystis, Planktothrix, Cyclotella の挙動を表現出来るモデルを構築する。
- ▼河川や底質からの汚濁負荷、鰐川の逆流を考慮した計算を行い、北浦の優占藻類の遷移を再現する。
- ▼有害藻類(Microcystis, Planktothrix)の発生を抑える方法を検討する。

# 発表項目

## 1.背景と目的

## 2.数値モデル

## 3.モデルの検証

## 4.汚濁負荷が北浦の水質に与える影響

## 5.優占藻類の遷移理由の考察

## 6.有害藻類の対策の検討

## 7. 結言

### 数値モデル～物理・化学生物結合モデル

#### 物理モデル

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p_s}{\partial x} + fv + A_M \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_M \frac{\partial u}{\partial z} \right)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p_s}{\partial y} - fu + A_M \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_M \frac{\partial v}{\partial z} \right)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad 0 = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p_s}{\partial z} - g$$

#### 化学生物モデル

##### 生態系モデル

PHY

(Microcystis, Planktothrix, Cyclotella)

ZOO

溶存態有機物、懸濁態有機

DIP, DIN, DO

※底層からの栄養塩の溶出、  
脱窒のモデルを加えた。

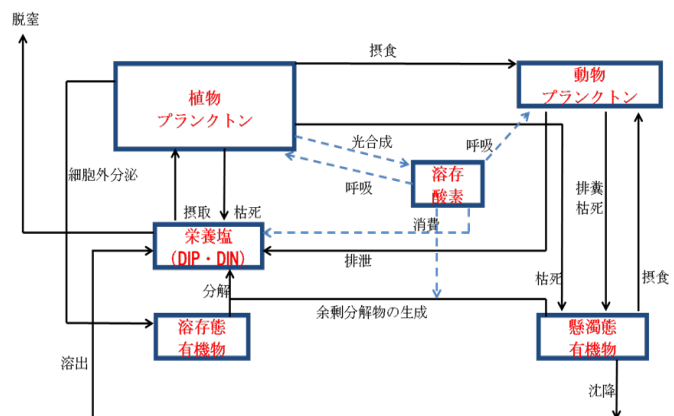


図5:生態系モデル

# 数値モデル

## ▼水温による成長制限

$$\mu(T, PHY) = \frac{T}{T_{opt}} \cdot \exp\left(1 - \frac{T}{T_{opt}}\right)$$

Mycrocystis(最適温度30°C~35°C)→30°C  
 Plantthrix(最適温度20°C~30°C)→20°C  
 Cyclotellas(成長可能温度5°C~24°C)→10°C

(八木, 1986)、(高村, 1998)

## ▼栄養塩による成長制限

$$\mu(PHY, SQP, SQN) = \min(SQP / (SQP + dipph \times phy), SQN / (SQN + dinph \times phy))$$

$$\mu_{2p}(DIP) = UP_{max} \cdot \frac{DIP}{DIP + hsp} \cdot \mu_{2pd}(phy, SQP)$$

*hsp* . . . DIP摂取の半飽和定数(mg / m3)

*hsn* . . . DIN摂取の半飽和定数(mg / m3)

*dipph* . . . PHYの炭素とDIPの比

*dinph* . . . PHYの炭素とDINの比

*UP\_max*、*UN\_max* . . . 栄養塩の最大摂食速度

$$\mu_{2n}(DIN) = UN_{max} \cdot \frac{DIN}{DIN + hsn} \cdot \mu_{2nd}(phy, SQN)$$

→観測値と計算値を比較し*hsp, hsn*のパラメータの調整を行った。

Microcystis, Planktothrix . . . 窒素制限

Cycrotella . . . リン制限

(本間, 2005)

# 数値モデル

## ▼Microcystisの浮上・沈降モデル(Basak et al., 2006)

$$\frac{d\rho}{dt} = \left( c_1 \left( \frac{I_z}{K_1 + I_z} \right) - c_2 I_a - c_3 \right) \times \min\left( \frac{N}{K_{sn} + N}, \frac{P}{K_{sp} + P} \right) \theta^{(T-20)}$$

$$\rho_2 = \rho_1 + P \frac{d\rho}{dt}$$

$$v = \frac{2gr^2(\rho_2 - \rho_w)A}{9n}$$

*K<sub>I</sub>* . . . 光の半飽和定数(J / m2 / s)

*P* . . . タイムステップ

*K<sub>SN</sub>* . . . 窒素の半飽和定数(mg / m3)

*r* . . . コロニー半径(m)

*K<sub>SP</sub>* . . . リンの半飽和定数(mg / m3)

*ρ<sub>w</sub>* . . . 水の密度(kg / m3)

*c<sub>1</sub>* . . . 密度の増加率(kg / m3 / s)

*A* . . . コロニー内の細胞率

*c<sub>2</sub>* . . . 密度の減少率( $\frac{kg / m3 / s}{J / m2 / s}$ )

*n* . . . 水の粘性係数(kg / m / s)

*c<sub>3</sub>* . . . 密度の最少減少率(kg / m3 / s)

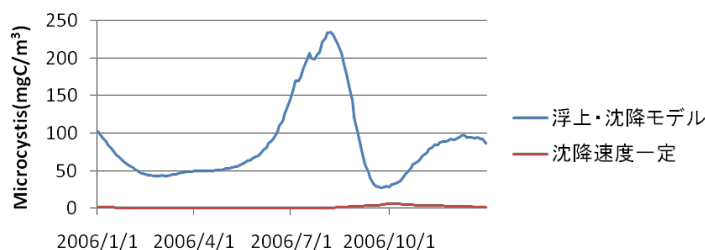


図6: 沈降モデルの比較

## 計算条件

計算領域: 北浦

計算格子: 19×42×15

計算期間: 2005/6/28～2009/3/16

時間間隔: 30秒

気象:

気象データ→水戸気象台

風向・風速→鹿嶋水道沖

気温→西浦の湖上

河川: 8 河川

流量・水温・DO→観測値を線形補間

栄養塩・有機物→COD,T-P,T-Nより推定

鰐川:

流量→観測値

水温・DO・栄養塩・有機物→外浪逆浦の観測値

藻類3種

→細胞密度(cells/m<sup>3</sup>)×乾燥重量(mg/cells)×炭素率(-)

(Reynolds, 2005)

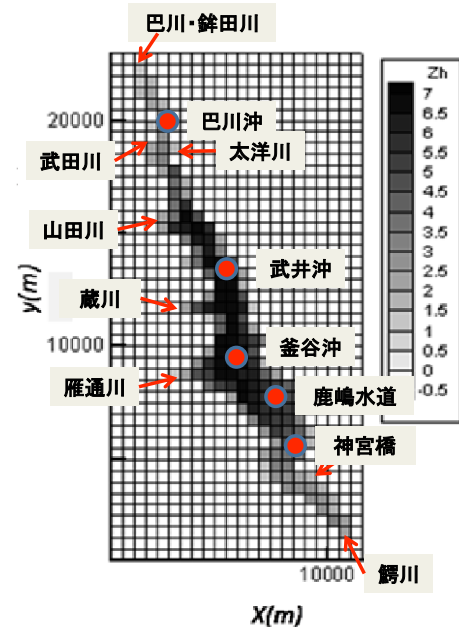


図7: 計算領域

## 発表項目

1. 背景と目的

2. 数値モデル

3. モデルの検証

4. 汚濁負荷が北浦の水質に与える影響

5. 優占藻類の遷移理由の考察

6. 有害藻類の対策の検討

7. 結言

## モデルの検証(生態系)

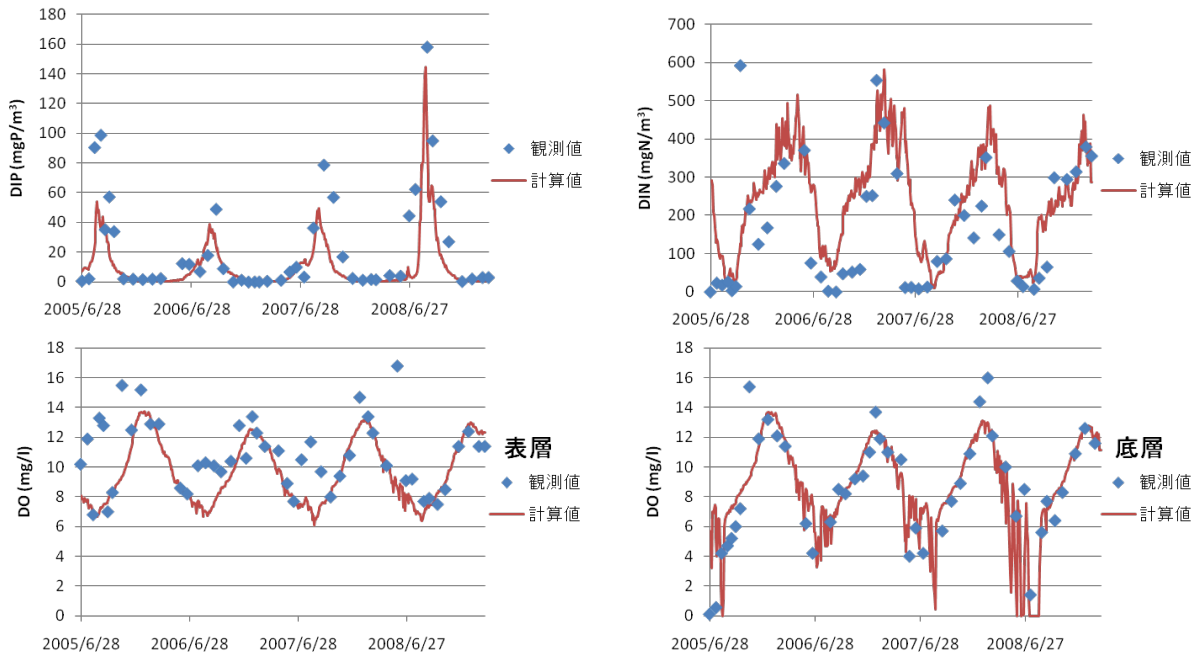


図8: DIP,DIN,DOの観測値と計算値

栄養塩濃度、溶存酸素濃度の経年変化を再現することが出来た。

## モデルの検証(生態系)

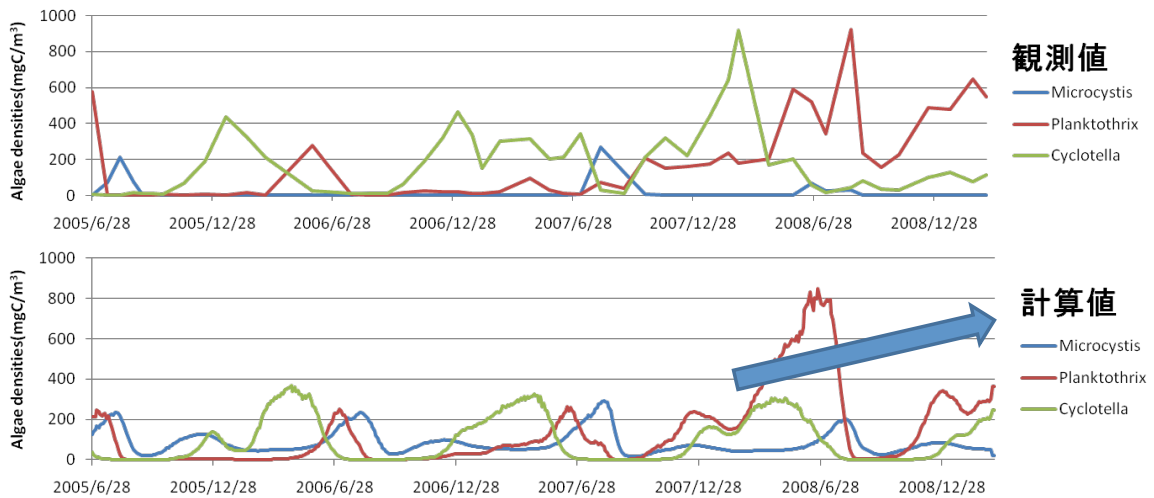


図9: 藻類の観測値と計算値

※Microcystis,Planktothrix→夏季に増加

※Cyclotella→冬季～春季に増加

優占藻類の挙動を表現し、優占藻類の遷移を再現することが出来た。

## 発表項目

- 1.背景と目的
- 2.数値モデル
- 3.モデルの検証
- 4.汚濁負荷が北浦の水質に与える影響
- 5.優占藻類の遷移理由の考察
- 6.有害藻類の対策の検討
7. 結言

## 汚濁負荷が北浦の水質に与える影響

- ▼汚濁負荷源→外部負荷・・・①河川(巴川・銚田川)から  
②鰐川から  
→内部負荷・・・③底質からの溶出  
以上の3種類を検討する。

## ▼方法

defaultの計算結果と汚濁負荷を無くした場合の計算結果を比べ、負荷の影響を評価する。



## 汚濁負荷が北浦の水質に与える影響

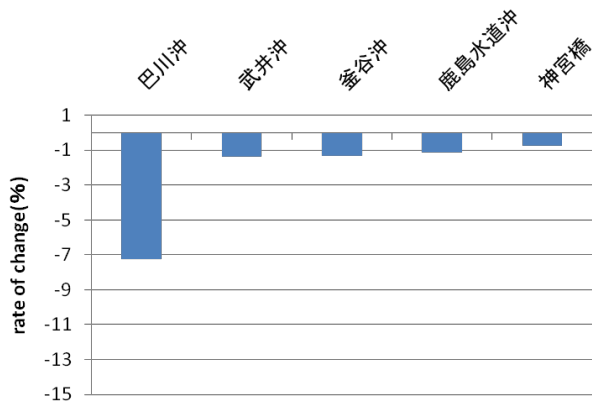


図10: 巴川・銚田川の負荷を無くした場合のDIP濃度の変化率

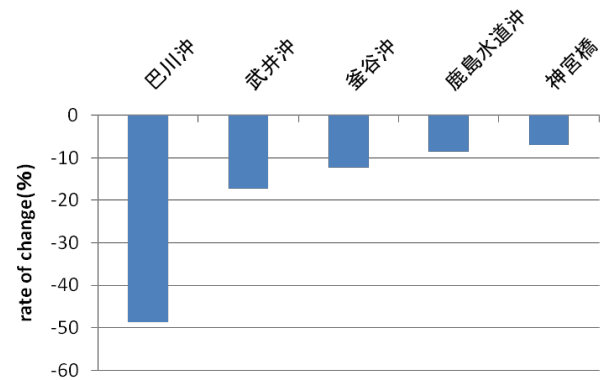


図11: 巴川・銚田川の負荷を無くした場合のDIN濃度の変化率

※巴川沖では河川の影響が大きくなっている。

## 汚濁負荷が北浦の水質に与える影響

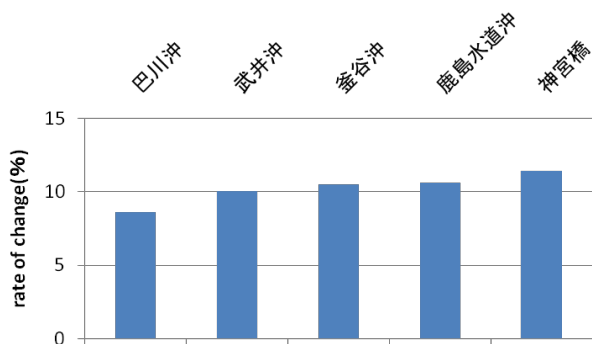


図12: 逆流を無くした場合のDIP濃度の変化率

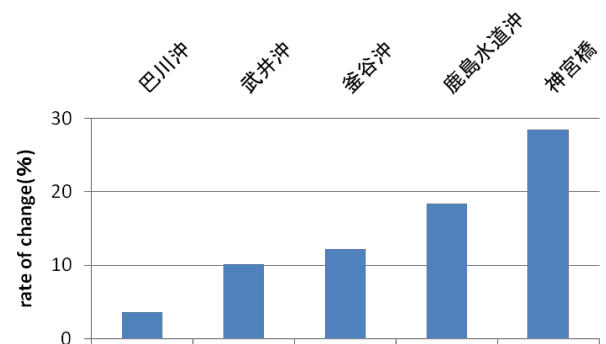


図13: 逆流を無くした場合のDIN濃度の変化率

※鰐川からの逆流は栄養塩濃度を希釈している。

## 汚濁負荷が北浦の水質に与える影響

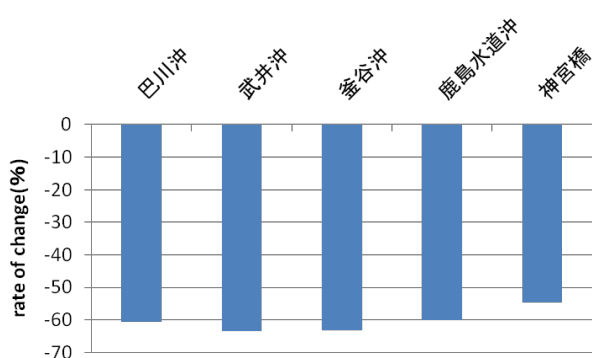


図14: 溶出を無くした場合のDIP濃度の変化率

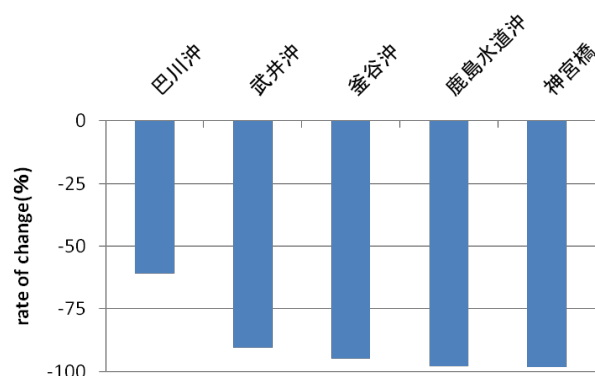


図15: 溶出を無くした場合のDIN濃度の変化率

※栄養塩濃度は底質からの溶出に支配されている。

### 発表項目

1. 背景と目的
2. 数値モデル
3. モデルの検証
4. 汚濁負荷が北浦の水質に与える影響
5. 優占藻類の遷移理由の考察
6. 有害藻類の対策の検討
7. 結言

## 優占藻類の遷移理由の検討

2008年以降のPlanktothrixの増加に着目する。

### 北浦の水質の変化

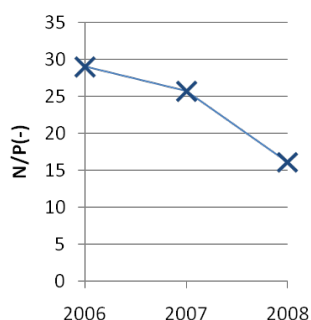


図16: 釜谷沖のN/P比変化

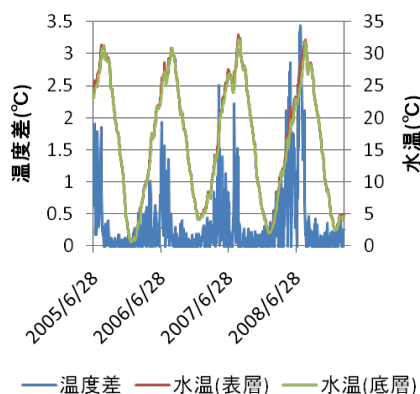


図17: 釜谷沖の水温及び表層と底層の温度差

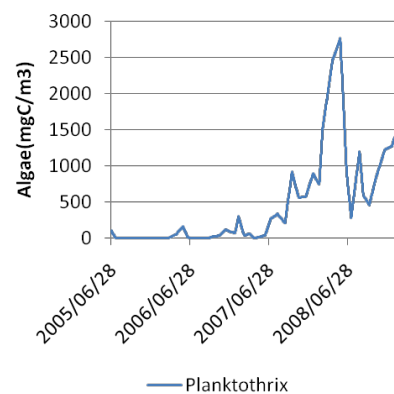


図18: 鰐川のPlanktothrix濃度

※2008年以降はN/P比は低下傾向にあり、成層も強い。

※鰐川からの流入量も多くなっている。

→このように、2008年以降の環境はPlanktothrixにとって好ましい状態である。

## 優占藻類の遷移理由の検討

DIP, DIN濃度、成層状態の経年変化・・・主に気象条件の変化による。

鰐川からの藻類の流入量の変化・・・鰐川の流入条件の変化による。

2008年以降のどちらの変化がPlanktothrixを増加させたかをモデルを用いて評価する。

### ▼方法

Case1・・・2008/3/16～2009/3/16の気象条件として2007/3/16～2008/3/16の気象条件を入力

Case2・・・2008/3/16～2009/3/16の逆流条件として2007/3/16～2008/3/16の逆流条件を入力

→default, case1, case2を比べることで、要因の影響を評価する。

## 優占藻類の遷移理由の検討

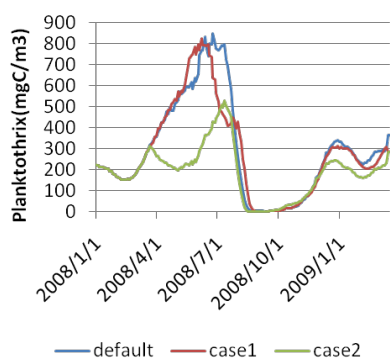


図19: Planktothrix濃度の比較

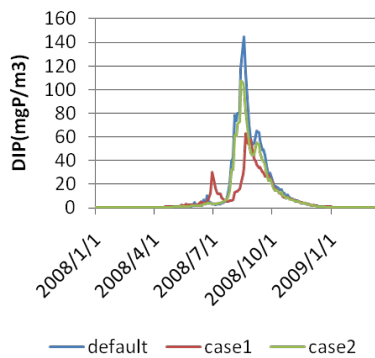


図20: DIP濃度の比較

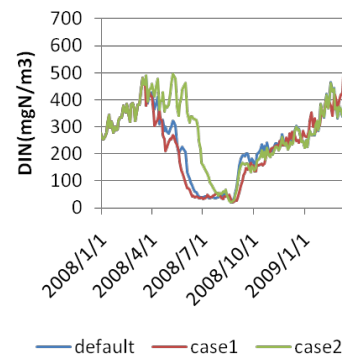


図21: DIN濃度の比較

※逆流の変化の影響でPlanktothrixが増加している。

※defaultとCase2でDIP,DIN濃度は大きく変化していないことから、Planktothrixの流入が直接的な原因と考えられる。

## 発表項目

1. 背景と目的
2. 数値モデル
3. モデルの検証
4. 汚濁負荷が北浦の水質に与える影響
5. 優占藻類の遷移理由の考察
6. 有害藻類の対策の検討
7. 結言

## 有害藻類の対策の検討

▼有害藻類(Microcystis,Planktothrix)に焦点を当て、  
効率よく有害藻類を減らす方法を検討する。

- ・逆流の規制(現流量×0.6、現流量×0.3)
- ・浚渫(DIPの溶出量×0.6、DINの溶出量×0.5) — (飛田, 2001)
- ・鉛直混合の促進

以上の3つの方法を検討した。

## 有害藻類の対策の検討

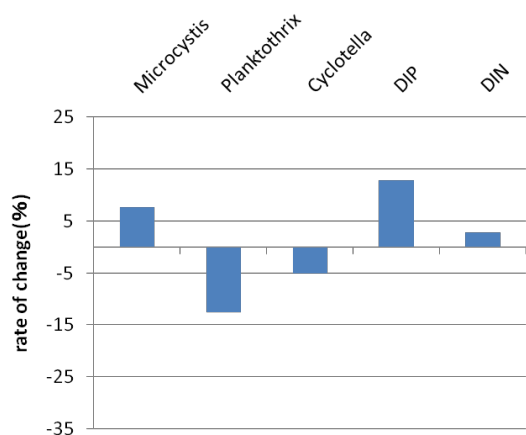


図22: 逆流の規制(×0.6)による  
栄養塩濃度と藻類の変化率

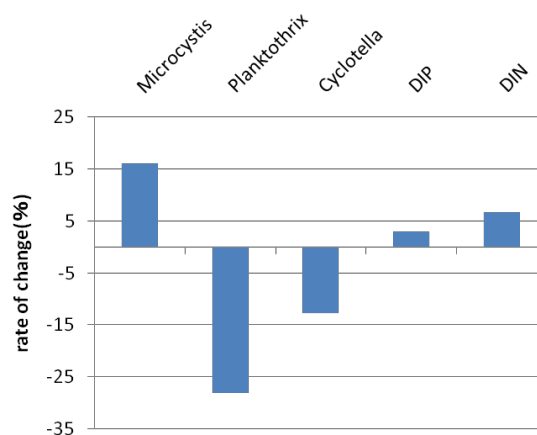


図23: 逆流の規制(×0.3)による  
栄養塩濃度と藻類の変化率

※逆流の規制によりPlanktothrixは減少するが、Microcystisは増加する。

## 有害藻類の対策の検討

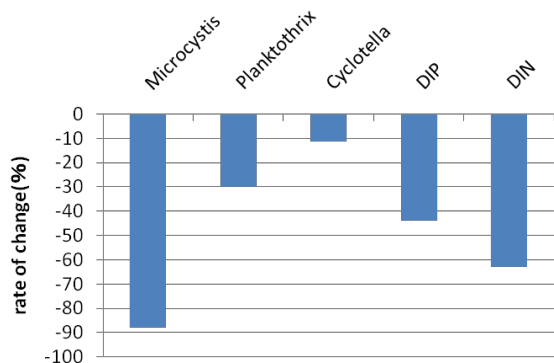


図24: 浚渫による栄養塩濃度と藻類の変化率

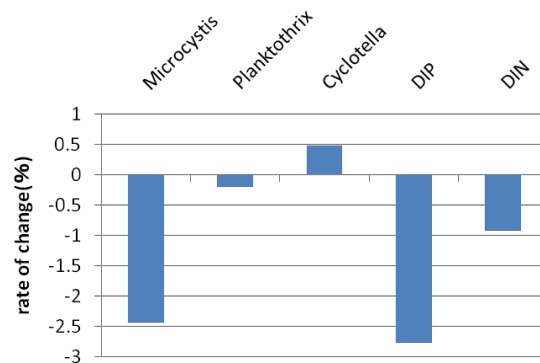


図25: 混合促進による栄養塩濃度と藻類の変化率

※浚渫による栄養塩濃度の低下に伴い、藻類は減少する。

※混合の促進により有害藻類は減少するが、効果は薄い。

## 発表項目

1.背景と目的

2.数値モデル

3.モデルの検証

4.汚濁負荷が北浦の水質に与える影響

5.優占藻類の遷移理由の考察

6.有害藻類の対策の検討

7. 結言

## 結言

- ▼ Microcystis, Planktothrix, Cyclotellaの3種を考慮した生態系モデルを構築し、北浦の優占藻類の遷移を再現することが出来た。
- ▼北浦の主な汚濁負荷源は底質からの溶出である。
- ▼北浦で優占藻類の遷移が発生した理由は鰐川からの逆流である。
- ▼有害藻類を減らすためには浚渫が効果的であることが分かった。

## 栄養塩濃度

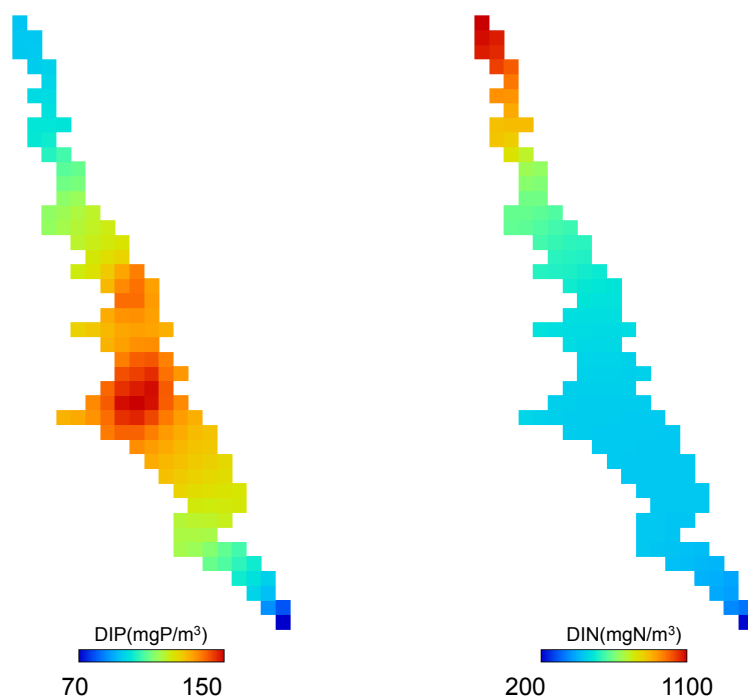


図: 2008年8月のDIP濃度

図: 2008年12月のDIN濃度