

超大型浮体構造物の付着生物による 溶存酸素濃度の変化に関する研究

指導教官：藤野 正隆 教授
多部田 茂 助教授

96603 秋山圭介

沿岸都市部における**経済活動の発展・人口集中**

空間資源の確保

利用可能な空間を拡大するため**沿岸域を埋立開発**

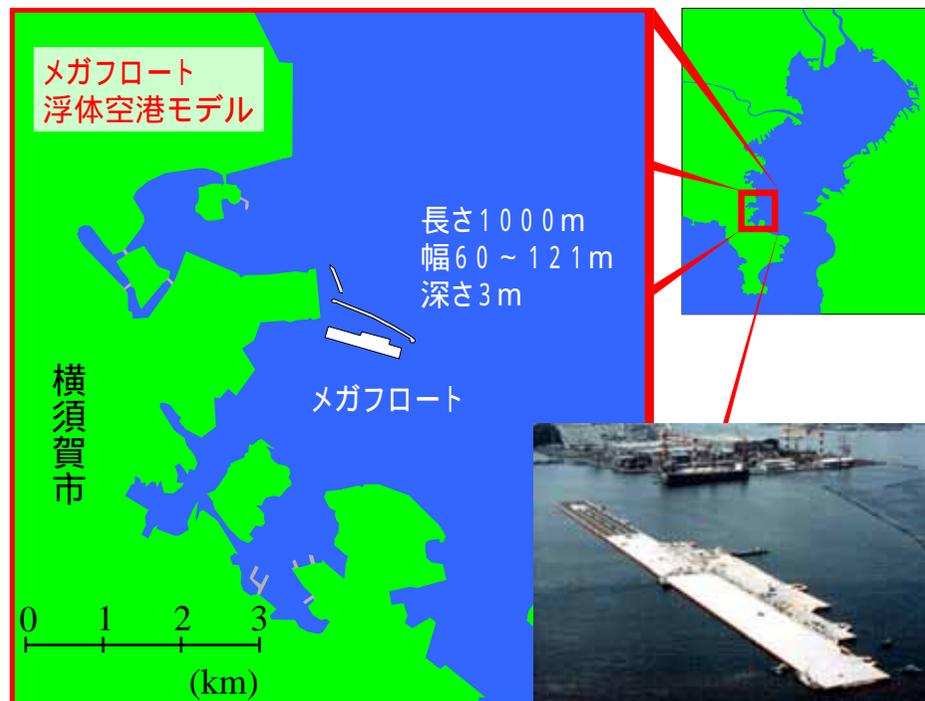
浅海域は高密度に利用

沖合の大水深海域や外洋に面した海域へ**領域拡大**

・海底が軟弱な地盤
・大水深海域

埋立工法を補完

超大型浮体式構造物(メガフロート)も選択肢の一つ



構造物を設置する際の問題

・水質環境への影響
・水理的環境への影響
・生物への影響

・実海域実証実験を行い、**現場で計測**

・周辺海域への影響を評価するため**シミュレーションモデル**開発

シミュレーションモデル

・海域での水質アセスメントを行うためのモデル

流動モデル + COD 拡散モデル (物理的な拡散のみ考慮)

COD を保存物質として扱う

外部生産 COD より内部生産 COD の影響が大きい

・生態系モデル

流れ場・水温・塩分・密度場を表す**物理過程**

生態系内の物質の保存を示す**生物・化学過程**

生態系モデル



浮遊生態系モデル

- ・海水中の生物の機能・物質循環を扱う
- ・物理モデルと併せて検討が行われている

底生生態系モデル

- ・海底付近の生物の機能・物質循環を扱う
- ・近年、計測や検討が行われ始めている

付着生態系モデル

- ・護岸・構造物に付着する生物の機能・物質循環を扱う
- ・田口の関西空港の護岸生態系などの例はあるが、ほとんど研究例がない

モデル構築のアプローチ

一般的には、個別の種の生物学的性質を実験室etcで計測し、モデル化する海域での生物の構成を調査し、これらを元にモデルを構築する

長所：一旦ある種の生物学的性質をモデル化できれば、海域によらず適用可

短所：対象とする生態系プロセスを全てモデル化するのは不可能

モデルが複雑になるに従い生物パラメータの数が増大し、全てを決定するのは莫大な労力を要する

計測できない未知パラメータが存在する



本研究では、超大型浮体構造物の付着生物を実海域で計測し、そのデータを用いてパラメータを推定しモデル化を行う

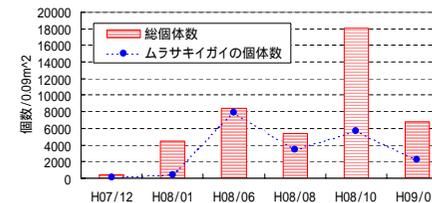
研究の目的

付着生物を考慮した生態系モデルを構築し、超大型浮体の環境影響について検討する

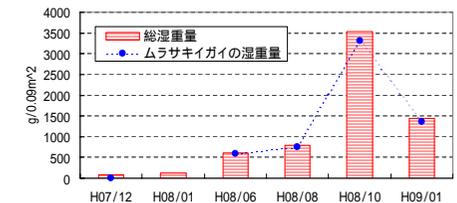
研究の手順

- ・超大型浮体構造物上の付着生物の機能を考慮した生態系モデルを構築する
- ・超大型浮体式海洋構造物・メガフロートの実海域実験浮体で付着生物群の呼吸による溶存酸素濃度変化の計測を行う
- ・計測データにデータ同化を用いて、メガフロートにおける付着生物群のパラメータを推定する
- ・上記で得られたパラメータを用い、付着生物を考慮したモデルを用いてメガフロートの環境影響を検討する。また、田口によるパラメータを用いた場合との比較を行う

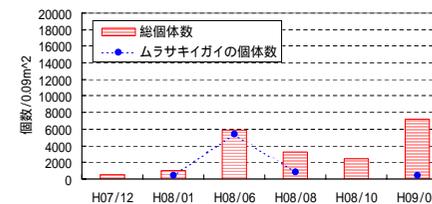
メガフロート実海域実験モデルで計測された付着生物



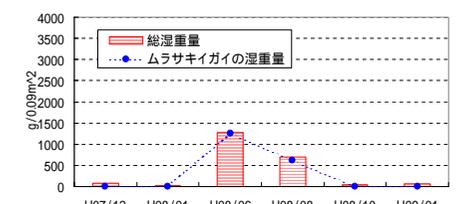
浮体側面の個体数



浮体側面の湿重量

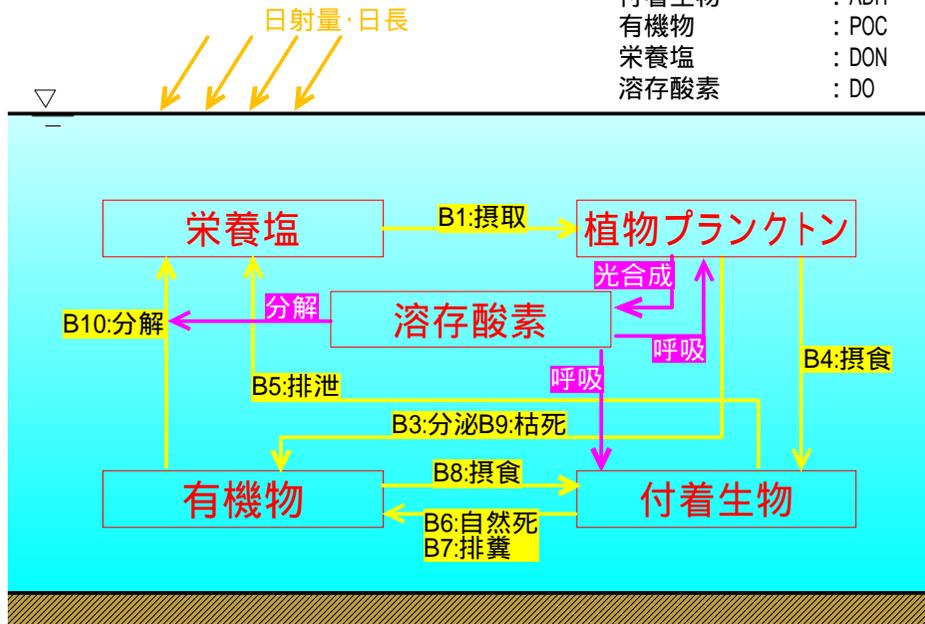


浮体底面の個体数



浮体底面の湿重量

本研究で用いる生態系モデル



モデルの定式化

付着生物

$$\frac{\partial ADH}{\partial t} = B_4 - B_5 - B_6 - B_7 + B_8$$

付着生物による摂餌

$$B_4 = \alpha_4 \exp(\beta_4 T) PHY \cdot ADH$$

α_4, β_4 : 捕食速度

$$B_8 = \alpha_4 \exp(\beta_4 T) POC \cdot ADH$$

呼吸

$$B_5 = \alpha_5 \exp(\beta_5 T) ADH$$

α_5, β_5 : 呼吸速度

死亡

$$B_6 = m_{ADH} ADH$$

m_{ADH} : 自然死亡速度

排糞

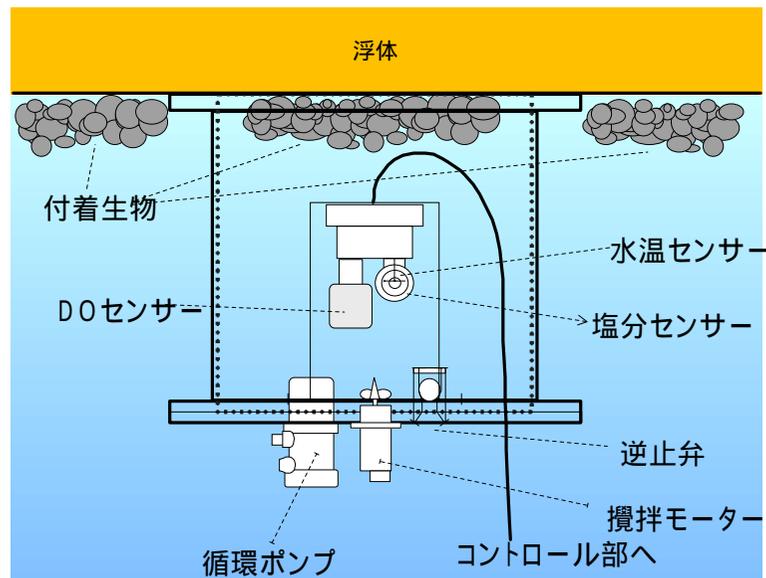
$$B_7 = (1 - \mu_{ADH})(B_4 + B_8)$$

μ_{ADH} : 同化効率

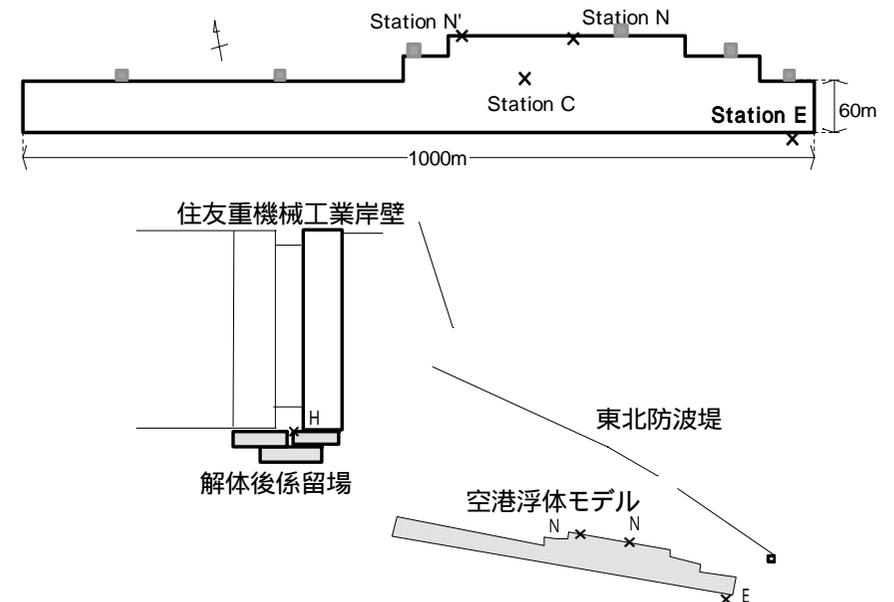
溶存酸素

$$\frac{\partial DO}{\partial t} = [TOD : C]_{POC} (B_1 - B_2) - [TOD : C]_{ADH} B_5 - [TOD : C]_{POC} B_{10}$$

計測装置



計測装置設置場所

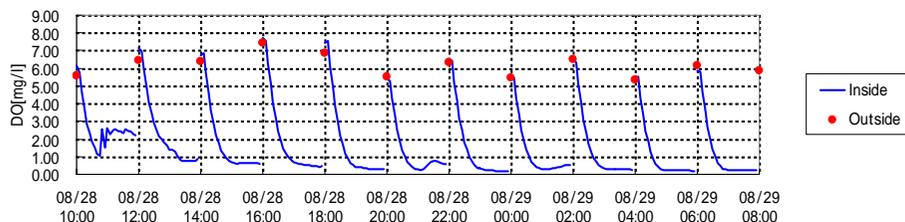


計測期間&装置の設定

計測期間		海水交換	計測間隔	ポンプ稼働時間	攪拌時間	計測地点
開始	終了					
H12.08.28 10:00	H12.08.29 08:00	120[min]	5.0[min]	3.0[min]	1.0[min]	St.N
H12.10.12 16:30	H12.10.19 11:00	30[min]	5.0[min]	3.0[min]	1.0[min]	St.E
H12.10.19 12:00	H12.10.30 15:00	60[min]				
H12.10.30 17:00	H12.11.01 10:00	30[min]				
H12.11.01 16:00	H12.11.02 13:30					
H12.11.02 14:00	H12.11.13 09:00	4.5[min]				
H12.12.04 16:00	H12.12.05 10:00	120[min]	5.0[min]	4.5[min]	1.0[min]	St.N'
H12.12.20 15:00	H12.12.22 09:00	180[min]	5.0[min]	4.5[min]	1.0[min]	St.H

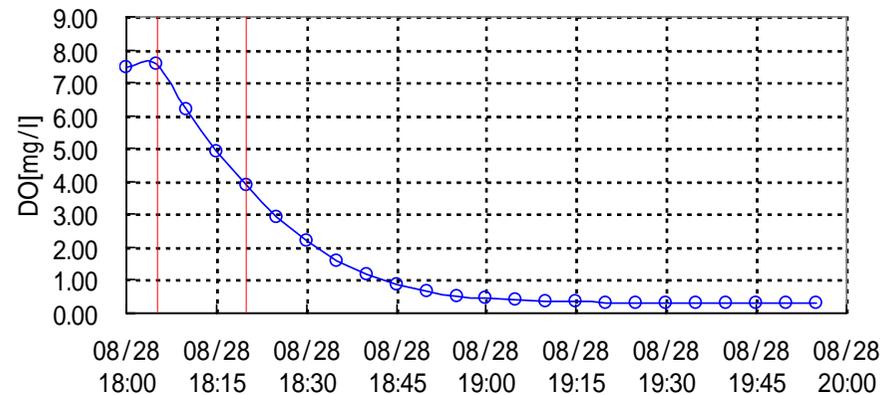
計測結果

溶存酸素連続計測結果



1インターバルのDO消費速度

- ・DO消費速度は、DO濃度が高いときはほぼ一定であるが、DO濃度が低くなるとDO濃度に依存して減少している
- ・今回データ同化では、DO濃度に依存しない部分を考える



データ同化を用いた付着生態系モデルのパラメータの推定

DO消費速度の計測データを用いてモデルのパラメータの最適値を求める

→ 変分法的一种である**随伴法**を用いる

随伴法 支配方程式 $\frac{dX}{dt} = N[X; c]$

評価関数 $J = \frac{1}{2} \int A(t) (X_t^{cal} - X_t^{obs})^2 dt$

X : 同化期間中に時間変化する物理量 : PHY, ADH, POC, DIN, DO

N : X に関する非線型演算子

c : 演算子に含まれる物理パラメータ : $\alpha_4, \beta_4, \alpha_5, \beta_5, m_{ADH}, \mu_{ADH}$

X^{obs} : 計測値 : DO^{obs}

X^{cal} : モデルの出力 (計算値) : DO^{cal}

$A(t)$: 計測値の精度に応じた重み計数

「支配方程式を拘束条件として評価関数を最小にするモデルの制御変数を求める」

という、強い拘束条件付き非線形最適化問題を、下に示すラグランジュ関数を汎関数とする条件無し変分問題とする

ラグランジュ関数

$$L = \int \lambda \left(\frac{dX}{dt} - N[X; c] \right) dt + J$$

ラグランジュ関数の第一変分を求め、評価関数の極小点における条件より**オイラー方程式**が求まる

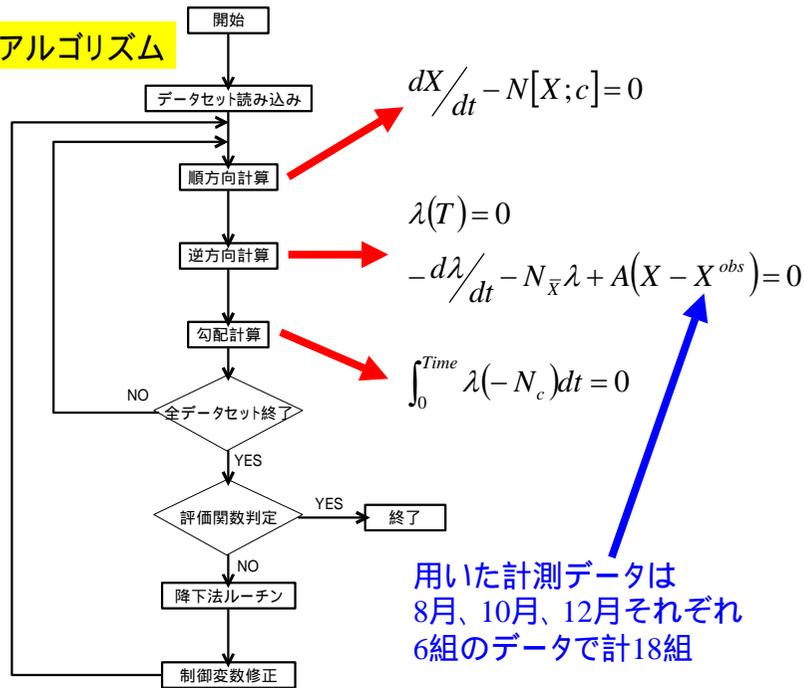
$$\frac{dX}{dt} - N[X; c] = 0$$

$$-\frac{d\lambda}{dt} - N_X \lambda + A(X - X^{obs}) = 0$$

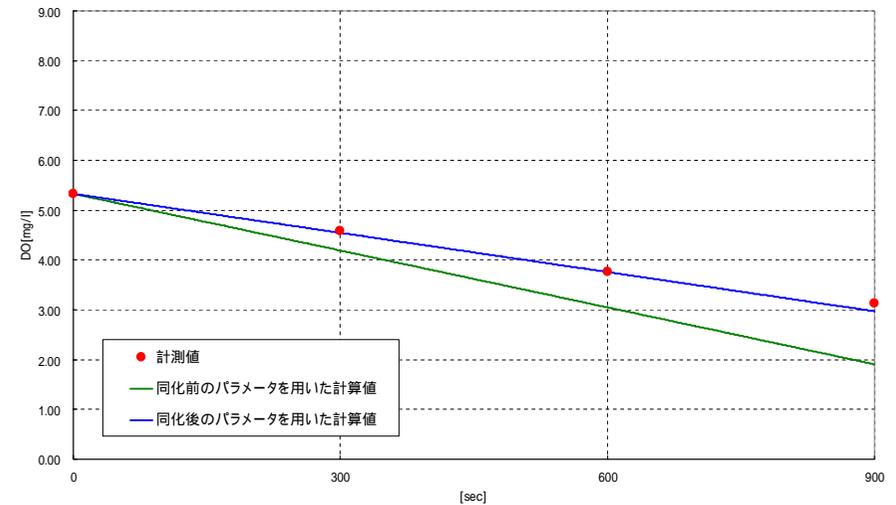
$$\lambda(T) = \lambda(0) = 0$$

$$\int_0^{Time} \lambda(-N_c) dt = 0$$

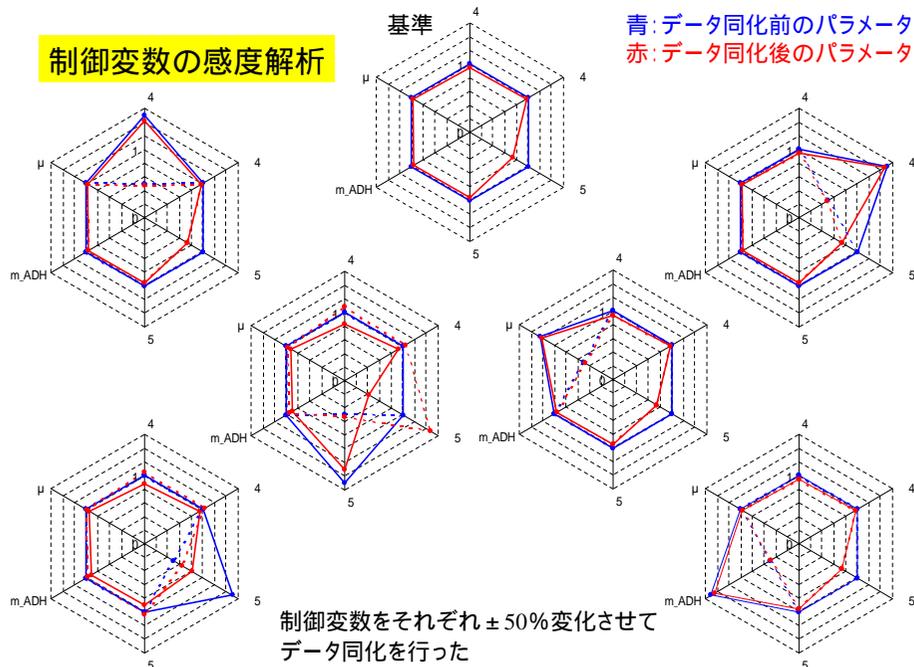
計算アルゴリズム



計算結果例



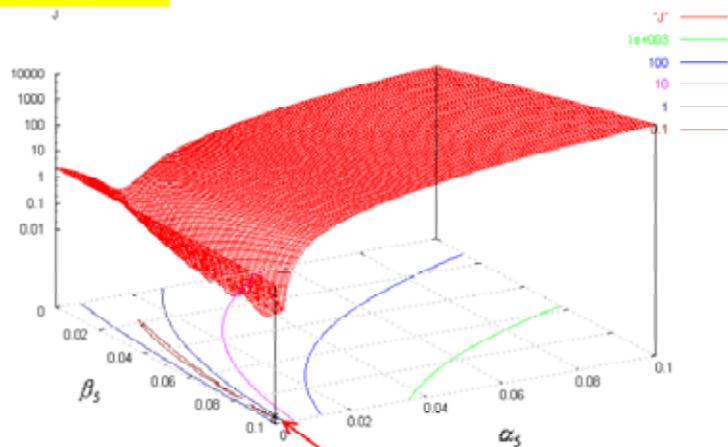
制御変数の感度解析



感度解析の結果、 μ 、 m_{ADH} 以外のパラメータの感度が鈍く、またこれらのパラメータを変化させても μ 、 m_{ADH} にほとんど影響がないのがわかる。
 これは評価関数にそれらのパラメータに対応した環境因子の計測データがないことが理由であると考えられ、 μ 、 m_{ADH} 、 μ_{ADH_5} を見るにはそれらに対応した計測値が必要である。

本件ではそれらのデータが存在しないので、 μ 、 m_{ADH} 以外のパラメータを先程の感度解析時の基準で求めた値に固定して、 μ 、 m_{ADH} について同化を行った。

α_5 、 β_5 とJの関係

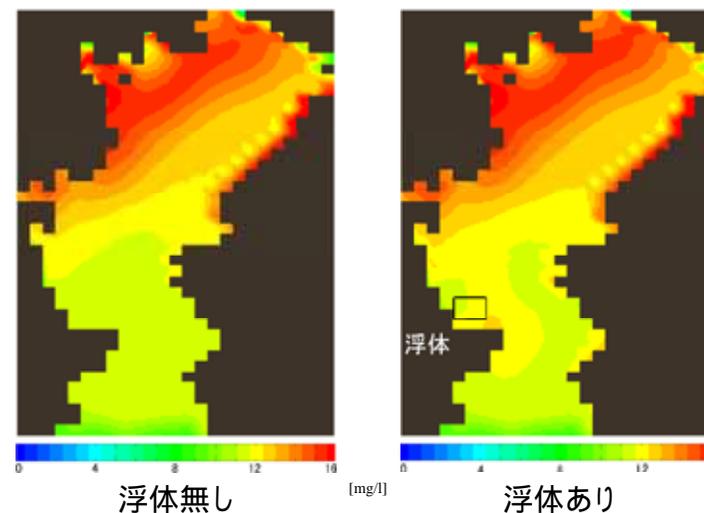


田口による推定値 $(\alpha_5, \beta_5) = (0.01, 0.0693)$ 同化で求めた値 $(\alpha_5, \beta_5) = (0.0017, 0.097)$

温度依存性はデータ同化で求めた値の方があがるが、
酸素消費速度自体は小さくなった

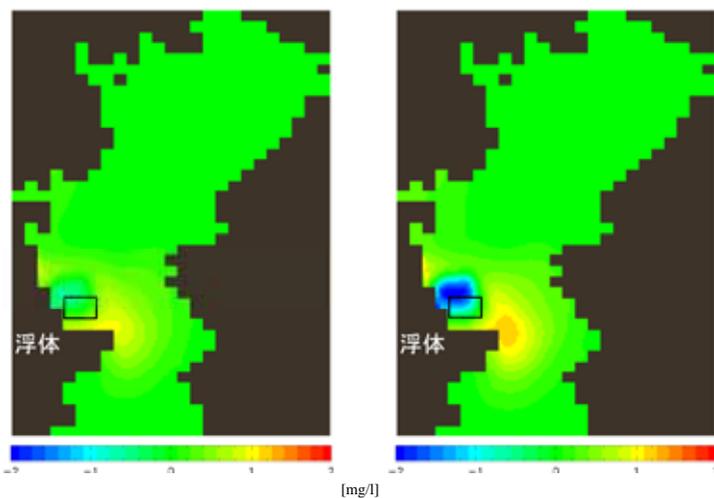
超大型浮体による環境影響の検討

計算条件は夏期を想定しており、定常になった時の表層のDOの一日の平均値をとっている。浮体は横須賀沖に3km × 5kmのものを設置するとした。



横須賀沖に3km × 5kmの浮体を設置した時の表層のDOの計算値と浮体無しの時の差

(浮体ありのDO) - (浮体無しのDO)



データ同化で求めたパラメータ

田口のパラメータ

結論

本研究では、

- 1: 超大型浮体による環境影響予測を行うために、付着生物を考慮した生態系モデルを構築した。
- 2: 超大型浮体構造物・メガフロートの実海域実験浮体で付着生物群の呼吸による溶存酸素濃度計測を行った。
- 3: 計測結果にデータ同化を用いて、メガフロートにおける付着生物群のパラメータを推定した。

以上により、次の知見が得られた。

1:

付着生物のDO消費速度は特にDO濃度が低くなったときにDO濃度に依存するので、モデル化の際にこの影響を含めたモデルを検討する必要がある。

2:

求めようとするパラメータに対応した計測データが存在しない場合、そのパラメータの最適値が求まりにくい。従って、データ同化でパラメータを推定するには、求めようとするパラメータに対応した環境因子を計測する必要がある。

3:

データ同化で得られたパラメータと既存の推定されたパラメータを比較すると、前者の方が酸素消費速度に温度依存性が強く現れたが、酸素消費速度自体は小さくなった。

4:

付着生物を考慮したモデルを用いてメガフロートの環境影響を検討した。どちらのパラメータを用いた場合でも、全体的に見ると浮体による周辺海域への影響は局所的な影響にとどまっている。しかしながら、ローカルな影響を細かく検討することも必要であり、そのためにはさらなる検証が必要である。