



東シナ海の物質輸送と 生態系のシミュレーション

H24年度 修士論文発表会
2013/02/04

指導教員: 多部田 茂 准教授
47-116641 小松田 真二

- 1, 背景・目的
- 2, 研究手法
 - 2.1 計算モデルとその修正
 - 2.2 計算条件
- 3, 計算結果
 - 3.1 物理モデル
 - 3.2 生態系モデル
- 4, 結果の考察
- 5, 結論
- 6, 今後の課題

研究背景

1. 背景,目的

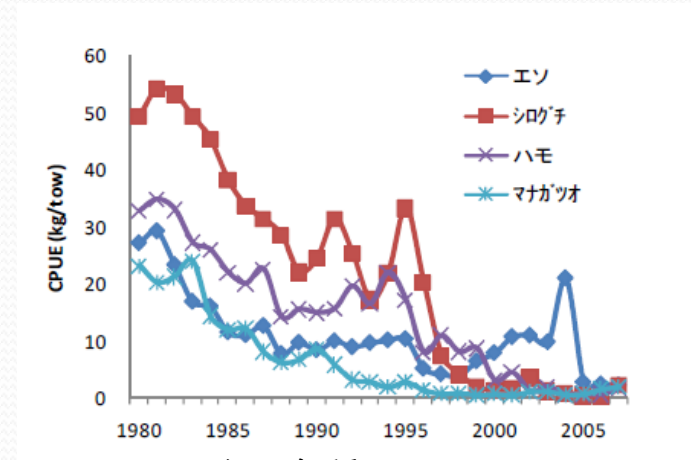
- 東シナ海の問題
・ 漁業資源の枯渇
・ 赤潮の発生
・ 貧酸素水塊



- 海洋開発の増加
・ 大規模洋上風力発電施設
・ 資源開発
・ 航路
... 海洋開発(環境負荷)は増加が予想される



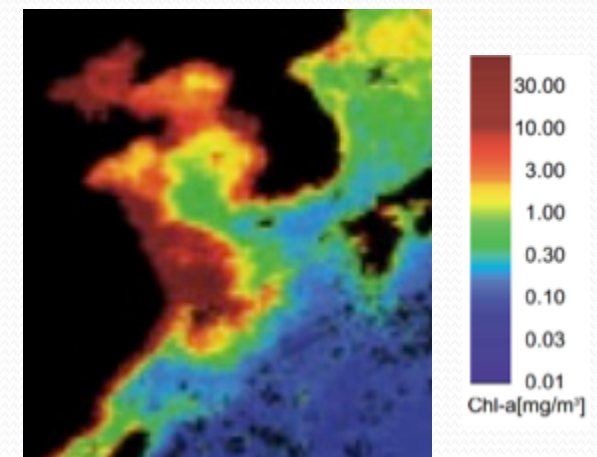
持続可能な海洋利用の為に、海域の適切な保全が必要
→ 海洋環境の数値シミュレーションが有効な手段である



主要魚種のCPUE

(水産総合研究センター)

※CPUE: Catch Per Unit Effort
(1日1隻あたりの漁獲量)



植物プランクトンの大量発生

(JAXA衛星写真)

先行研究

1. 背景,目的

東シナ海のシミュレーションの先行研究は
流動(物理場)に着目・・・多い
生態系を対象・・・・・・・・少ない

(例) Guo et.al. (2010): 東シナ海における外洋起源栄養塩の輸送と低次生態系への影響
Guo et.al. (2011): Influence of cross-shelf water transport on nutrients and
phytoplankton in the East China Sea: a model study

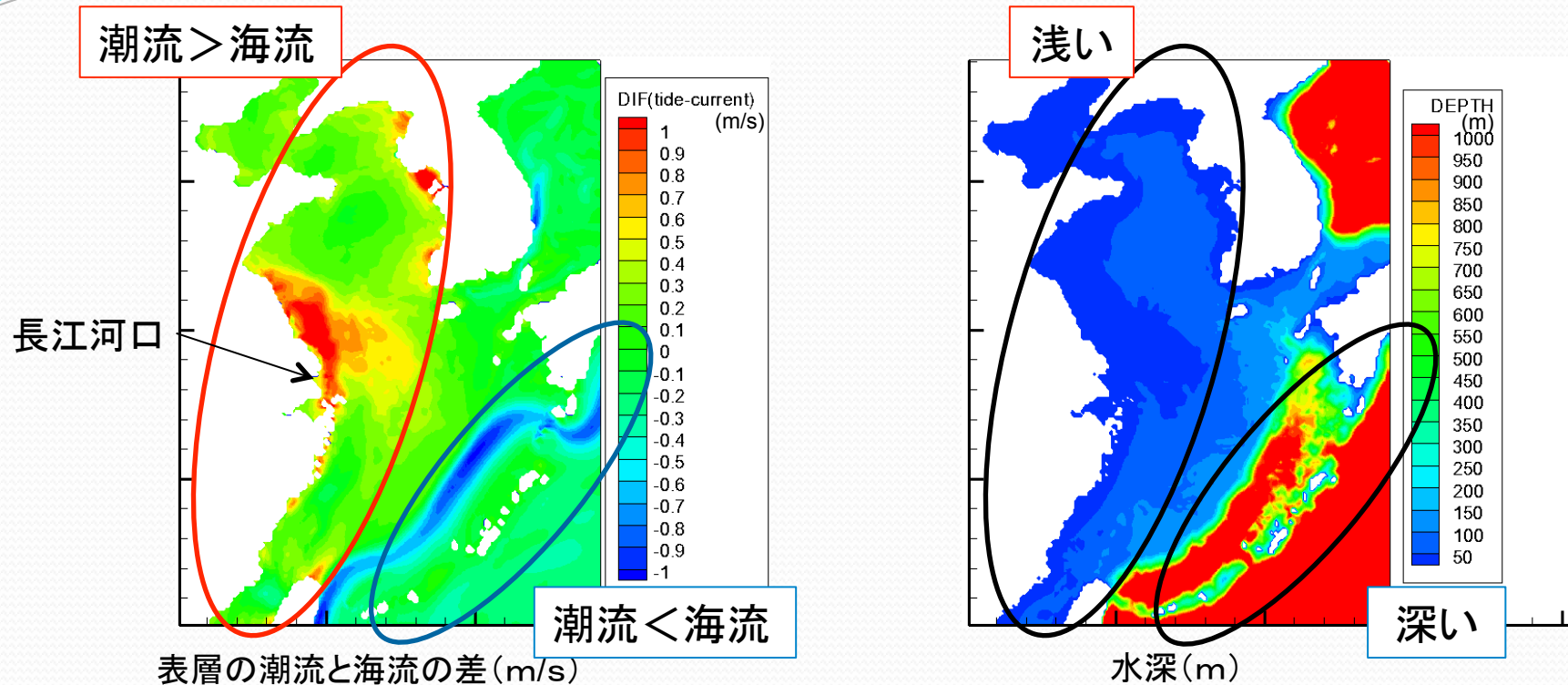
陸域からの負荷の影響の検討・・・少ない (情報が限られる為)

中国語の文献からデータ収集

陸域からの負荷に着目した研究

潮流と海流の比較

1. 背景,目的



潮流: 計算期間における, 表層の潮流の絶対値の平均値 (m/s)
海流: 同期間内の、表層の海流の絶対値の平均値 (m/s)

浅海域では, 潮流の影響が大きい
長江の河口付近の流れは潮流が特に卓越
→陸域からの負荷を考慮する場合は, 潮流を含めた計算が必要となる

研究目的

1. 背景,目的

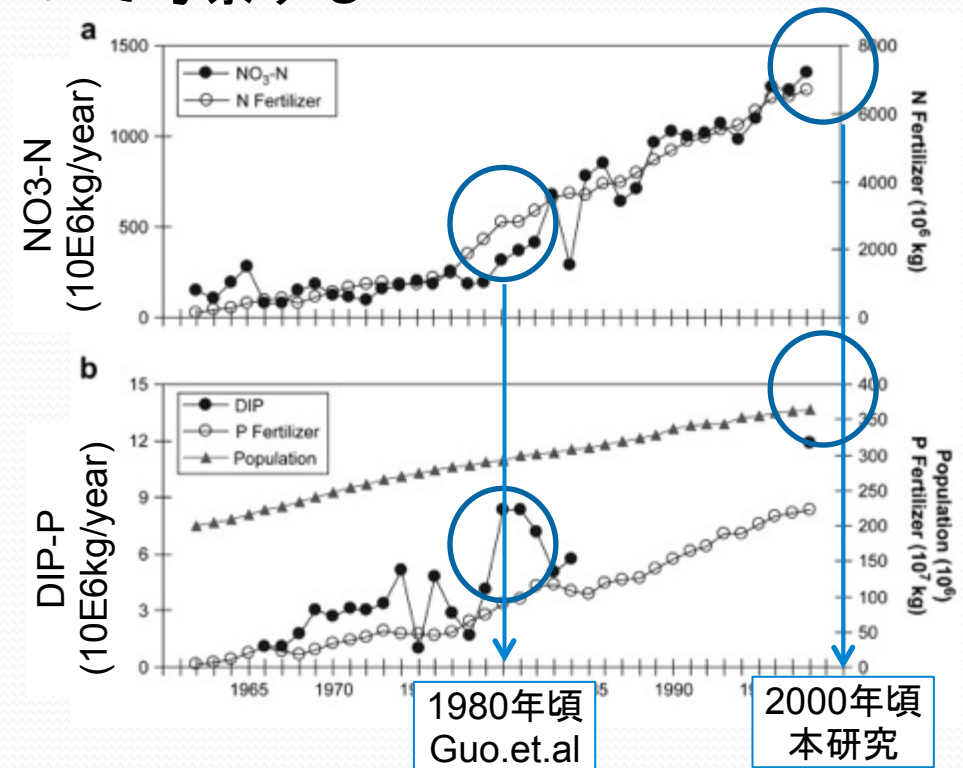
<目的>

東シナ海の流動と生態系のシミュレーションを行い
物質輸送や生態系の計算結果について考察する

<特徴・新規性>

簡便な方法で潮流と海流を同時に考慮

最近の陸域負荷の情報を使用する



長江の栄養塩フラックスの経年変化 (Duan.et.al 2008)

- 1, 背景,目的
- 2, 研究手法
 - 2.1 計算モデルとその修正
 - 2.2 計算条件
- 3, 計算結果
 - 3.1 物理モデル
 - 3.2 生態系モデル
- 4, 結果の考察
- 5, 結論
- 6, 今後の課題

— MEC-nest (Marine Environmental Committee)

○ 支配方程式

- ・ 運動方程式
- ・ 連続の式
- ・ 静水圧近似



潮流の計算

・ 移流拡散方程式

— 海流と水温と塩分はJCOPE2の計算結果を利用



計算した潮流 + JCOPE2の計算結果(海流、水温、塩分)

→ 物理場を作成

→ 物質輸送・低次生態系を計算する

本研究では、ある地点での流動(u)は潮流(u_t)とその他の流動成分(u_c)の線形結合で表せると仮定する(非線形性は考慮しない)

$$\underline{u}_t + \underline{u}_c = u$$

- u_c に含まれる流れ
 - ・海流(主として黒潮)
 - ・密度流(水温場や塩分場の勾配によるもの)
 - ・吹送流(風によって生じる流れ)
 - ・河川水流入に伴う流れ(JCOPE2では長江のみ考慮)
- u_t に含まれる流れ
 - ・潮流

「海流」

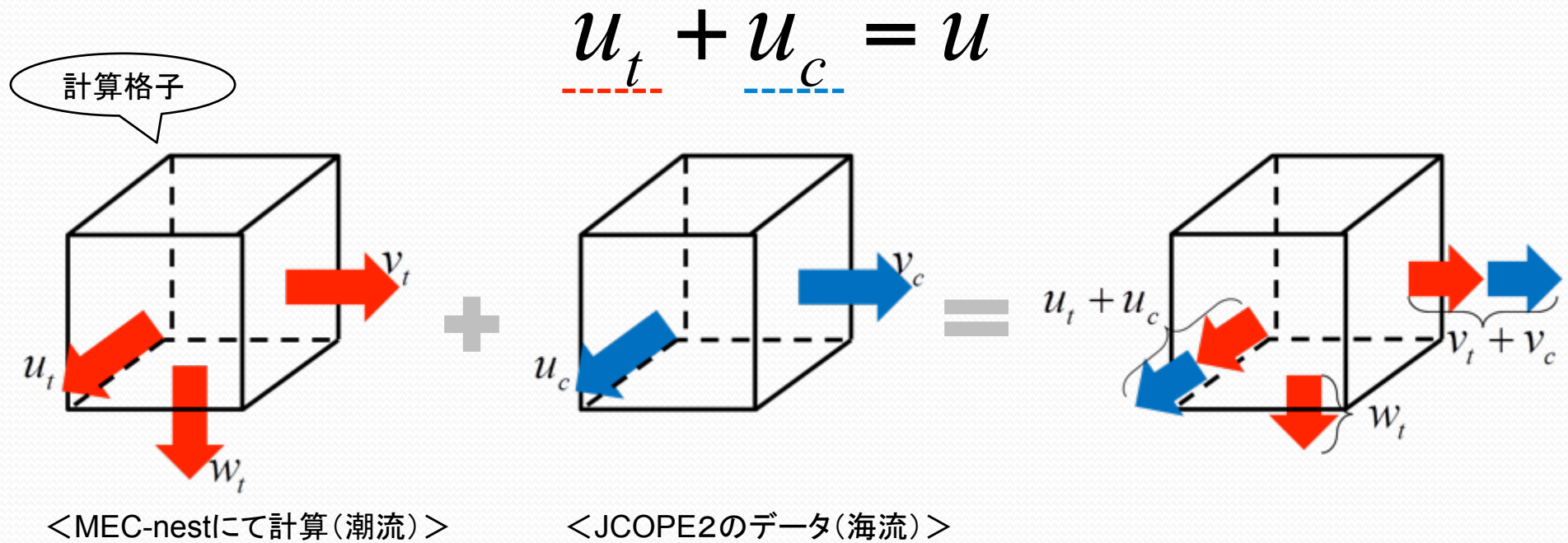
「潮流」

※説明の便宜上

潮流と海流の足し合わせ

2.1 計算モデルとその修正

本研究では、ある地点での流動(u)は潮流(u_t)とその他の流動成分(u_c)の線形結合で表せると仮定する(非線形性は考慮しない)



物質の動きを計算する際の移流項には、足し合わせた流速を用いる

生態系モデル

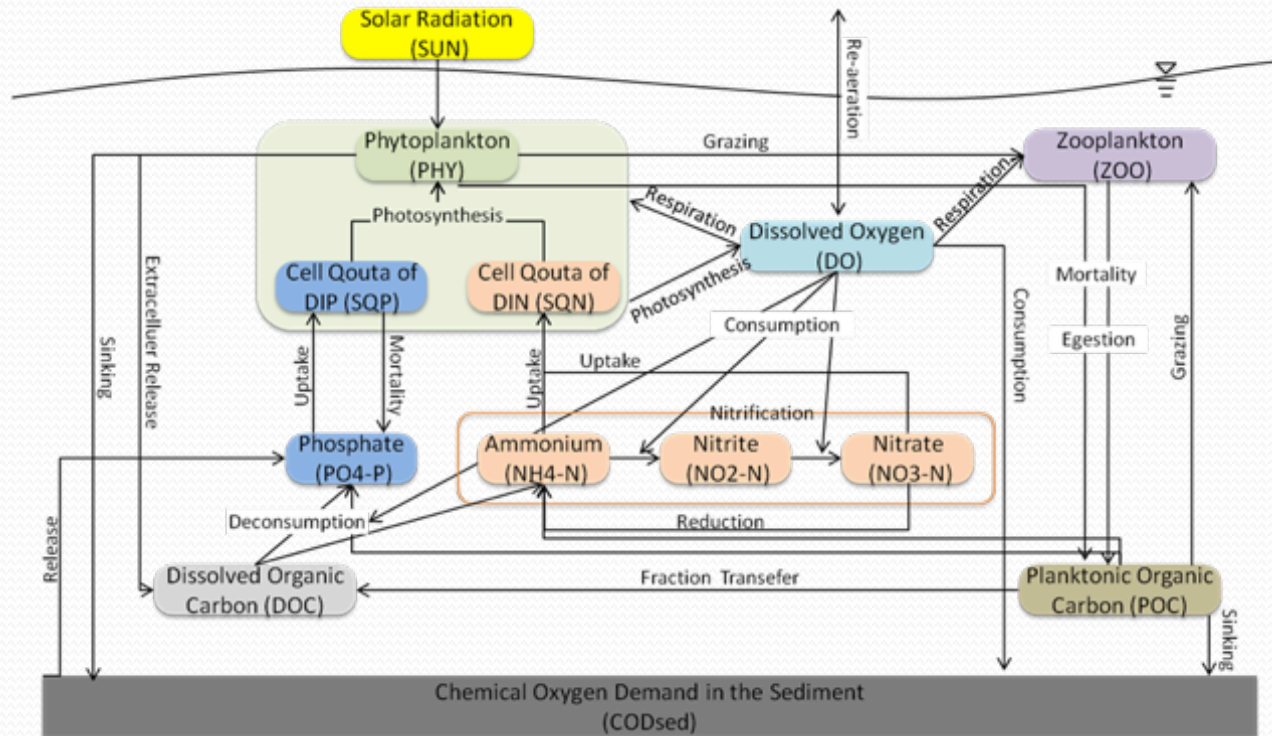
2.1 計算モデルとその修正

- 生態系モデルの概略

物質Qの挙動は移流拡散方程式に従う

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + u \frac{\partial Q}{\partial x} + v \frac{\partial Q}{\partial y} + w \frac{\partial Q}{\partial z} = A_c \left(\frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 Q}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_c \frac{\partial Q}{\partial z} \right) + \left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right)^*$$

化学生物過程



生態系モデル概略図

各種パラメータは先行研究(郭、2011)(白田、2008)より引用

モデルの修正

2.1 計算モデルとその修正

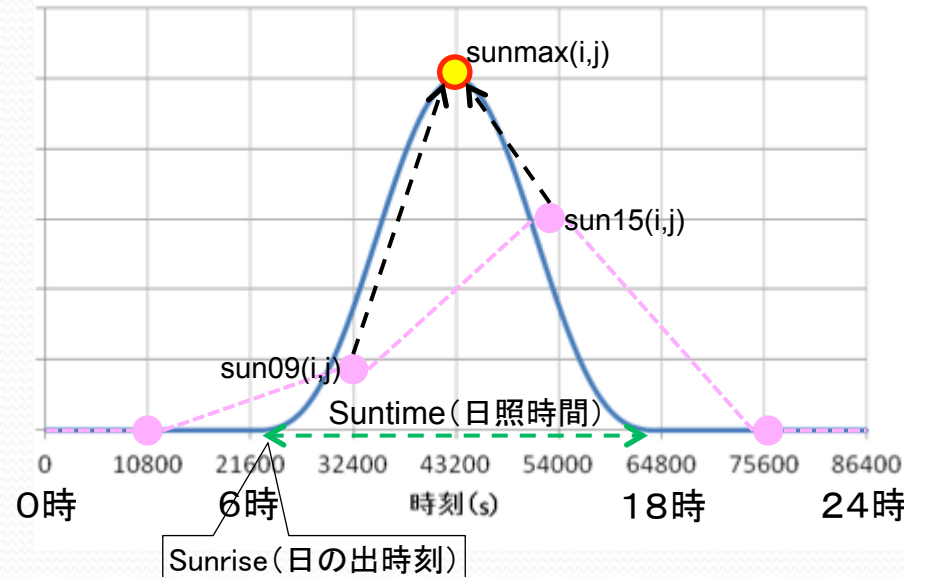
● 海面フラックスの影響

海面フラックス(風, 日射, 気温, 降水, 気圧など)の物理場への影響はJCOPE2に含まれる(データ同化の為)

JRA-25日射データ(09JST,15JST)より,
対象海域の日射量を推定
→植物プランクトンの光合成に利用

○日射量の推定式(Ikushima,1967)

$$\text{日射量} (J/m^2/s) = \frac{\text{最大日射量} (J/m^2/s)}{\text{日照時間}(s)} \times \sin^3 \left\{ \frac{\pi}{\text{日照時間}(s)} \times (t - \text{日の出時刻}(s)) \right\}$$

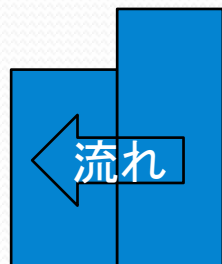


日射量推定の概要

● 密度流

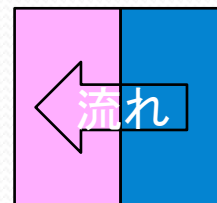
各セルの水温塩分場の密度勾配による流れ(密度流)はJCOPE2の計算結果に含まれている
静水圧計算時の密度を一定値として, 潮流の計算を行った

圧力小 圧力大



水位差による流れ

密度小 密度大
=圧力小 =圧力大



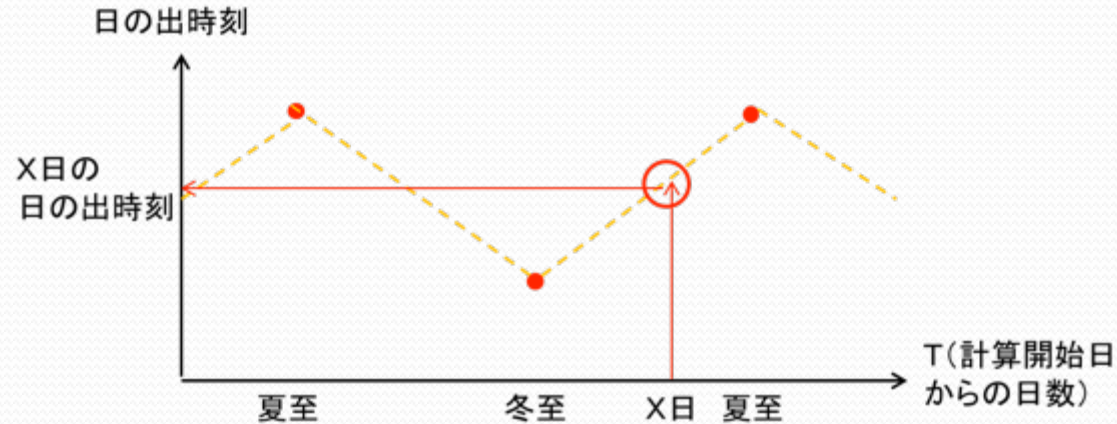
密度差による流れ

潮流としては計算しない

日射推定方法

2.1 計算モデルとその修正

- 論文記載事項の誤りを訂正



論文記載



実際の計算

日の出日没時刻の推定に、4端点ではなく、上端下端中央の2点における、夏至冬至の日の出日没時刻を利用¹³

モデルの修正

2.1 計算モデルとその修正

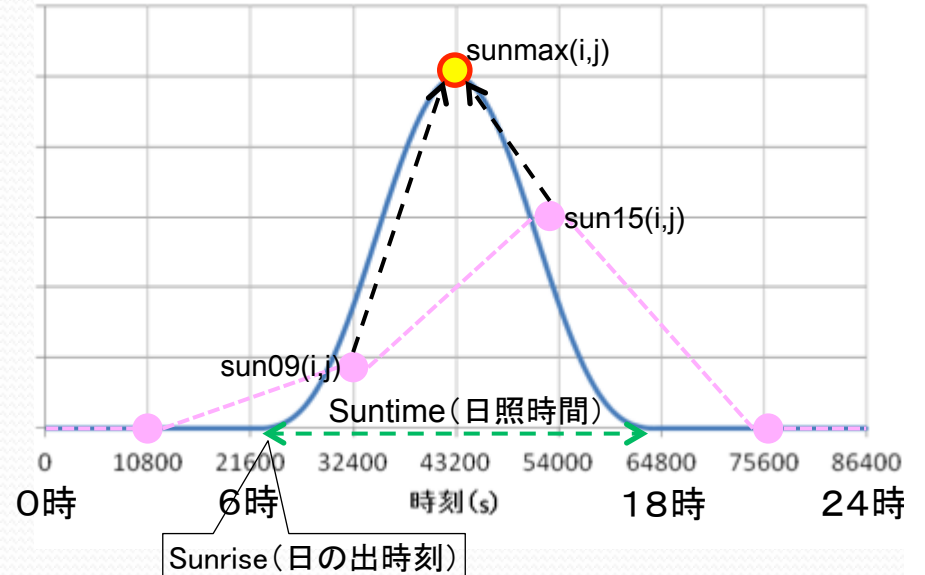
● 海面フラックスの影響

海面フラックス(風, 日射, 気温, 降水, 気圧など)の物理場への影響はJCOPE2に含まれる(データ同化の為)

JRA-25日射データ(09JST,15JST)より,
対象海域の日射量を推定
→植物プランクトンの光合成に利用

○日射量の推定式(Ikushima,1967)

$$\text{日射量 (J/m}^2\text{/s)} = \text{最大日射量 (J/m}^2\text{/s)} \times \sin^3 \left\{ \frac{\pi}{\text{日照時間(s)}} \times (t - \text{日の出時刻(s)}) \right\}$$

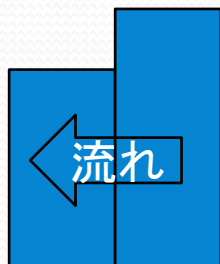


日射量推定の概要

● 密度流

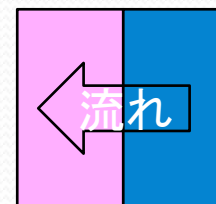
各セルの水溫塩分場の密度勾配による流れ(密度流)はJCOPE2の計算結果に含まれている
静水圧計算時の密度を一定値として, 潮流の計算を行った

圧力小 圧力大



水位差による流れ

密度小 密度大
= 圧力小 = 圧力大



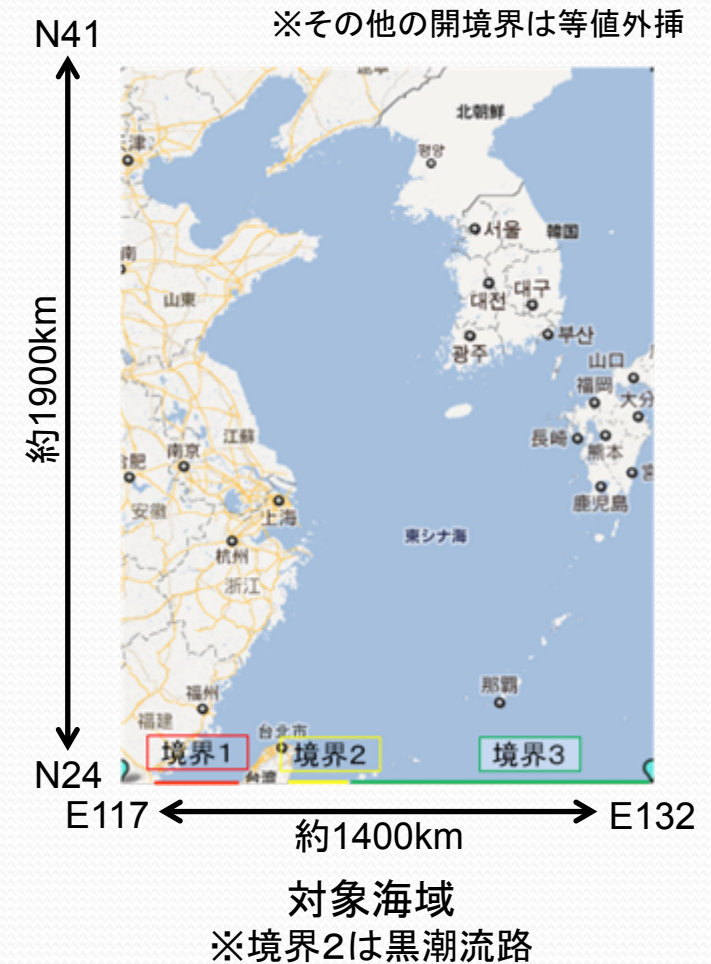
密度差による流れ

潮流としては計算しない

計算条件①

2.2 計算条件

- 計算領域
東シナ海 (N24~N41, E117~E132)
- 計算格子
横180 × 縦204 × 鉛直22の格子
1/12度 × 1/12度
- 計算期間
2006年6月1日 ~ 2007年12月31日
(2007/1/1 ~ 2007/12/31を主な解析期間とした)
- 時間間隔
20秒 (< 20.48秒)
- 開境界条件(水質)
NOAA(アメリカ海洋大気局)データ(月別気候値)



- 海象(海流・密度場)
JCOPE2(海流、水温、塩分)データ
1日ごとのデータを時間補間
- 潮汐
NAO99潮汐モデル(国立天文台)より
位相・振幅・角振動数(主要4分潮)
各開境界セルの水面振動として与える
- 気象(日射)
JRA25より日射データを
植物プランクトンの光合成に利用
(他の気象条件はJCOPE2のデータに含まれているものとする)
- 河川
10河川(右地図参照)
(中国海灣誌、Sun Binbin, Zhou Guohua, We Hualing, et al.2009)



主要10河川の河口位置

計算条件③

- モデル内の代表的なパラメータ

○物理モデル

	値	単位
重力加速度	9.81	m/s ²
渦動粘性係数(水平)	972.12	m ² /s
渦動拡散係数(水平)	194.42	m ² /s
渦動粘性係数(鉛直)	0.0001	m ² /s
渦動拡散係数(鉛直)	0.0001	m ² /s

○生態系モデル

	Case0	Case1	Case2	Case3	単位
最大光合成速度	1.33	1.50	1.33	1.33	1/day
リンの半飽和定数	20	20	30	20	mgP/m ³
アンモニアの半飽和定数	25.2	25.2	25.2	20	mgN/m ³
硝酸の半飽和定数	25.2	25.2	25.2	20	mgN/m ³

- 1, 背景,目的
- 2, 研究手法
 - 2.1 計算モデルとその修正
 - 2.2 計算条件
- 3, 計算結果
 - 3.1 物理モデル
 - 3.2 生態系モデル
- 4, 結果の考察
- 5, 結論
- 6, 今後の課題

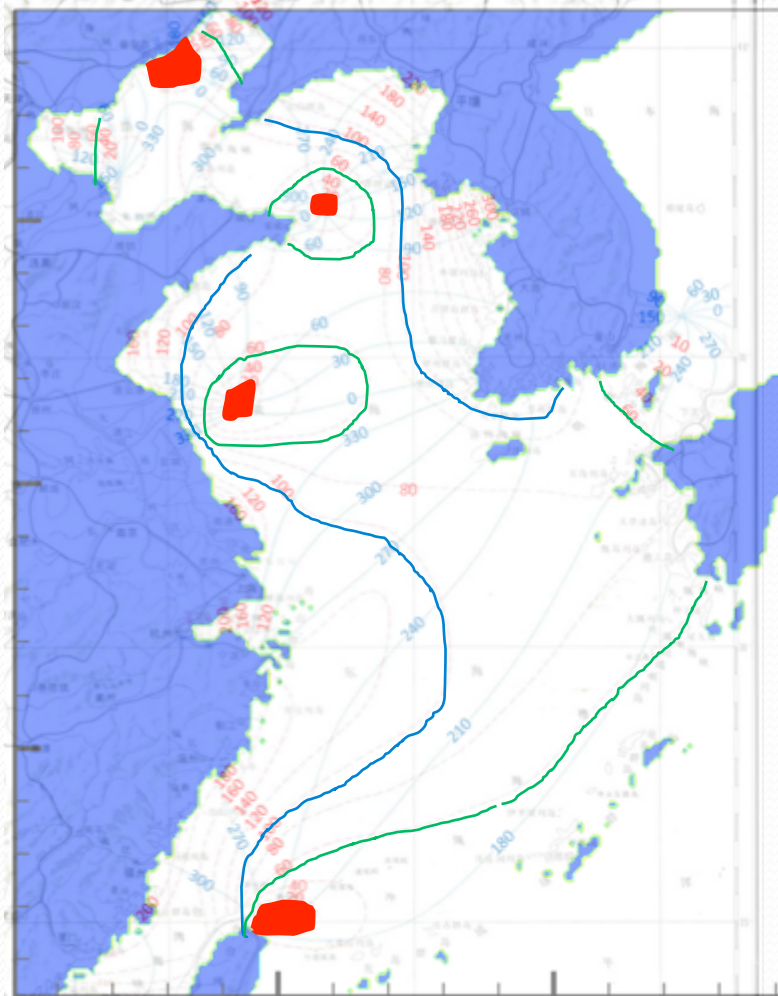
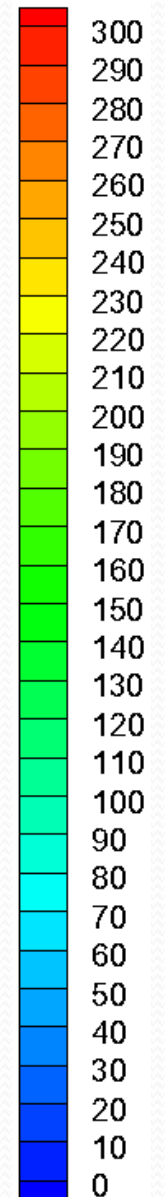
潮汐の検証

3.1 計算結果(物理モデル)

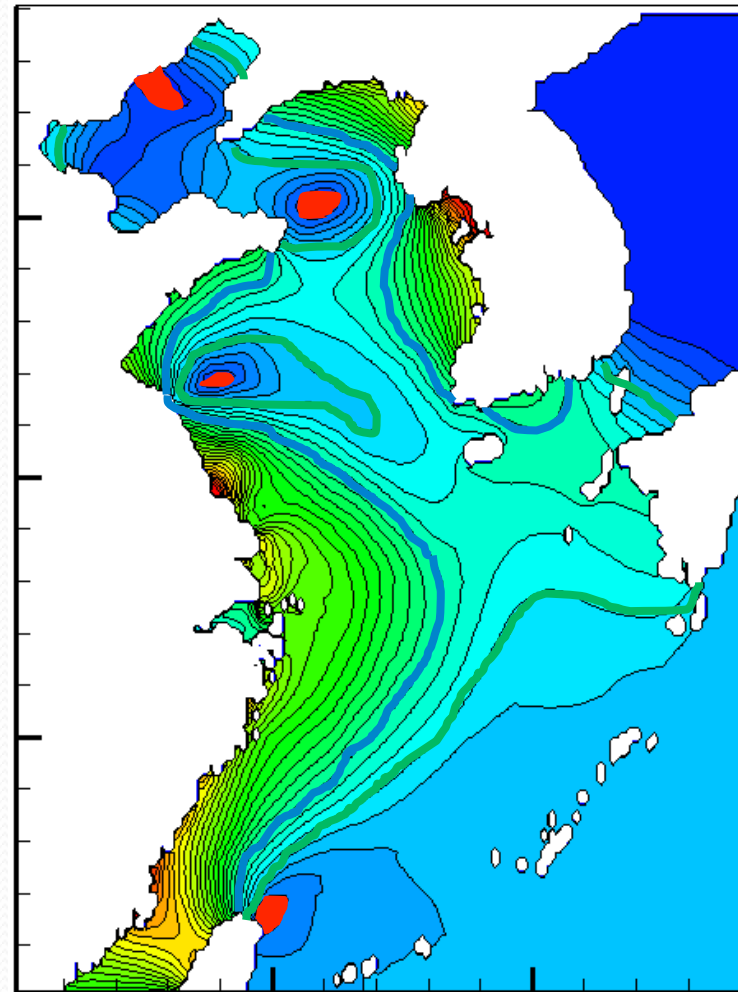
- 海域全体で振幅を比較(M2分潮)

- 60cm等振幅線
- 100cm等振幅線
- 振幅20cm以下の領域

AMP-M2



M2分潮振幅(中国海灣誌より抜粋)



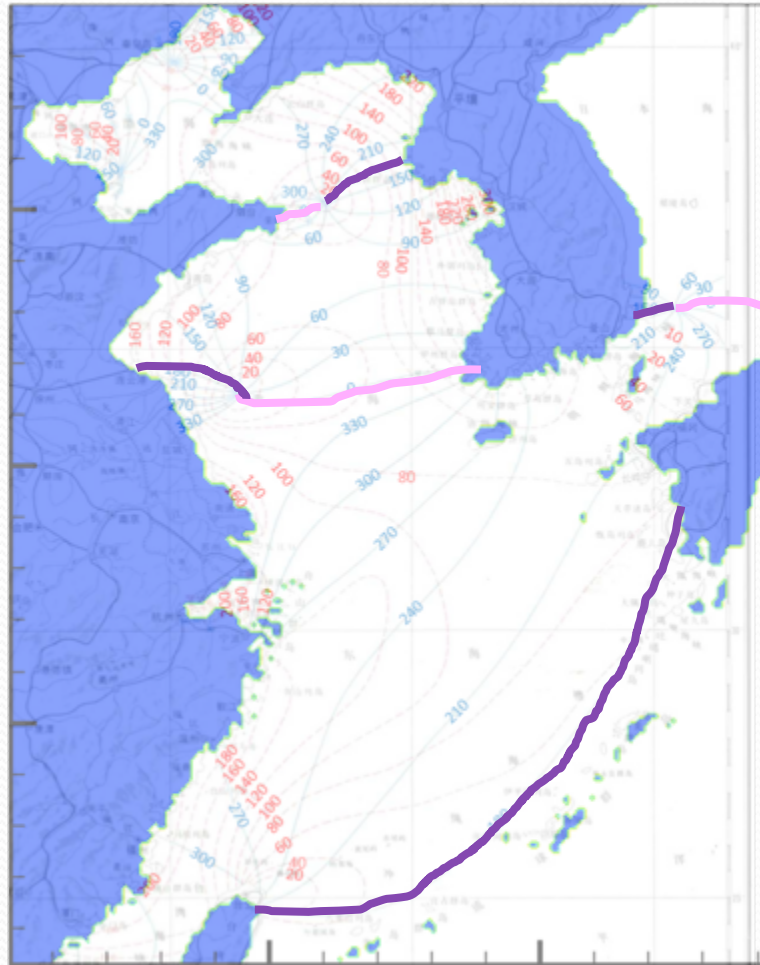
M2分潮振幅(計算値)

潮汐の検証

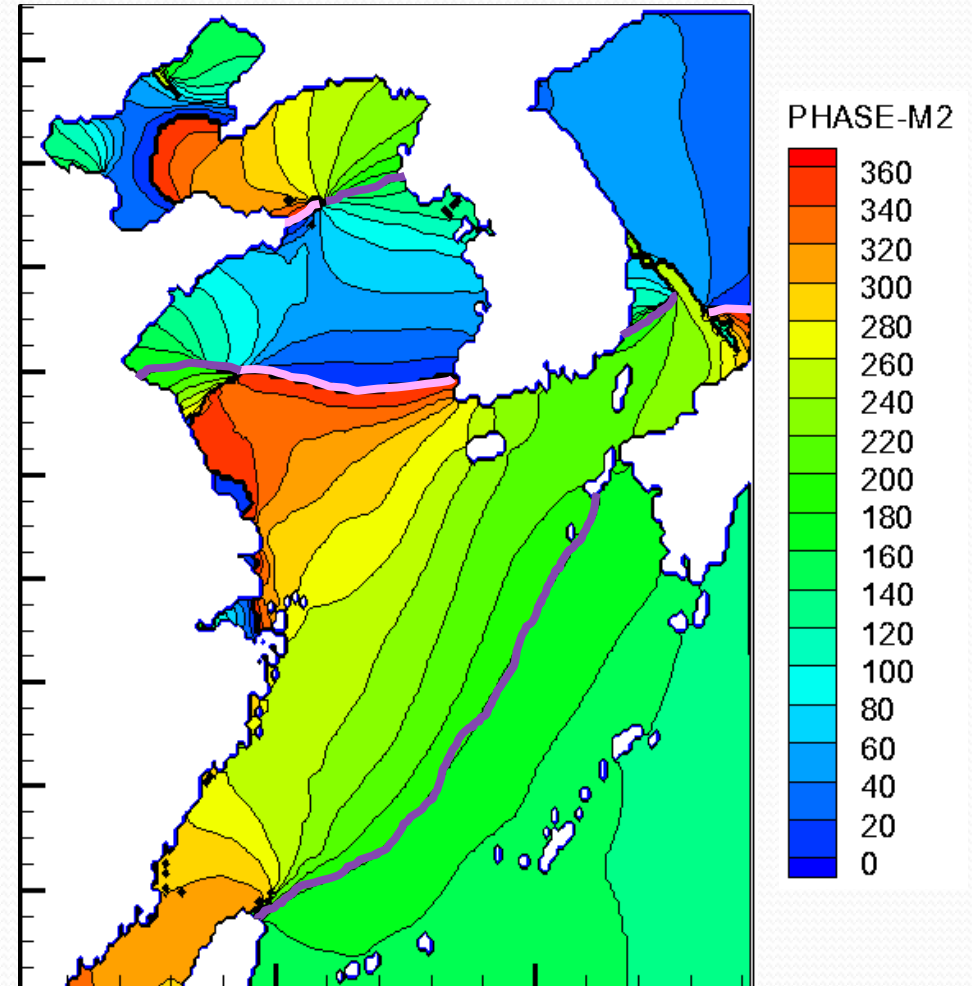
3.1 計算結果(物理モデル)

- 海域全体で振幅を比較(M2分潮)

- 0度等位相線
- 180度等位相線



M2分潮位相(中国海灣誌より抜粋)

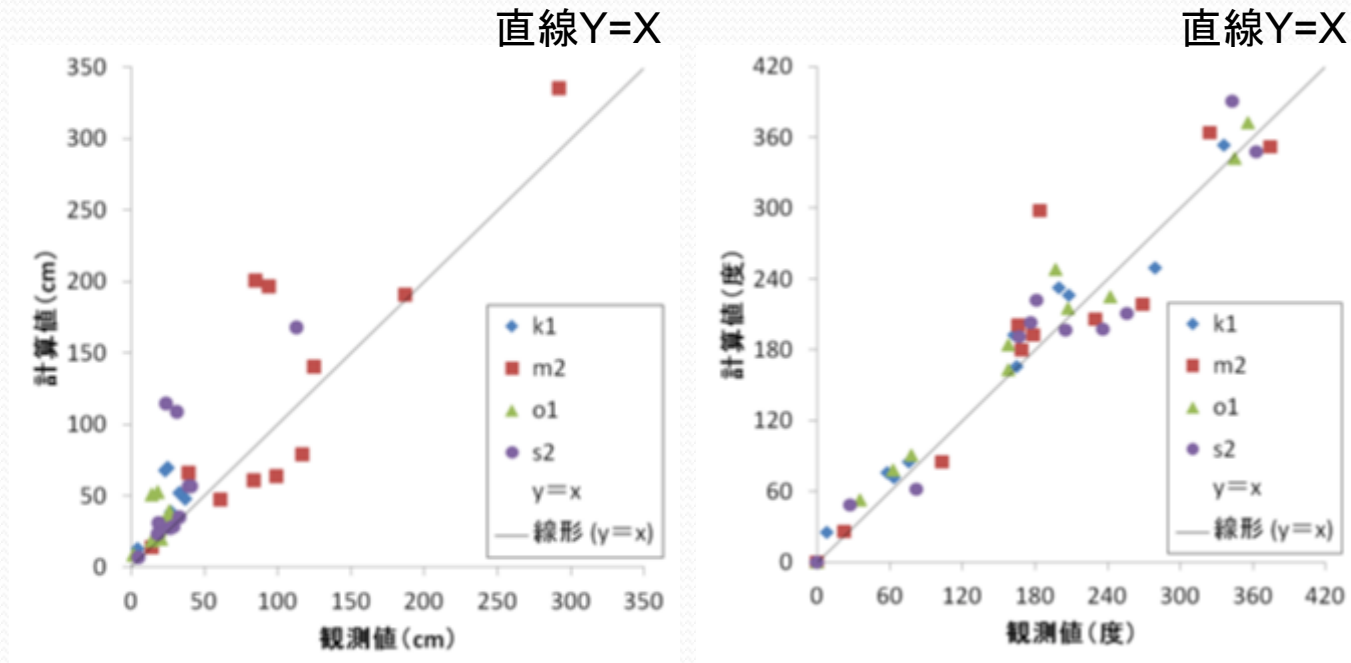


M2分潮位相(計算値)

潮汐の検証

3.1 計算結果(物理モデル)

- M2分潮の潮位振動(計算値と文献の比較)



調和定数の比較(左:振幅 右:位相)



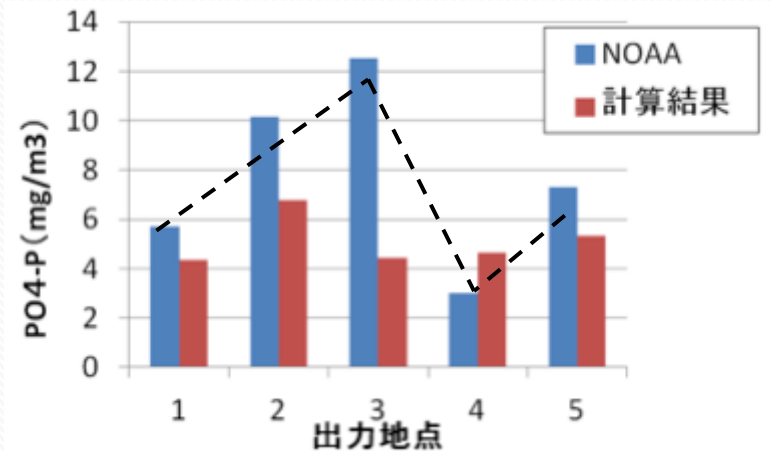
振幅・位相の出力地点
●(中野猿人:潮汐學、1940)

潮汐の傾向は概ね再現できているが、沿岸域では一致していない地点も存在する
←地形データの粗さの為と思われる

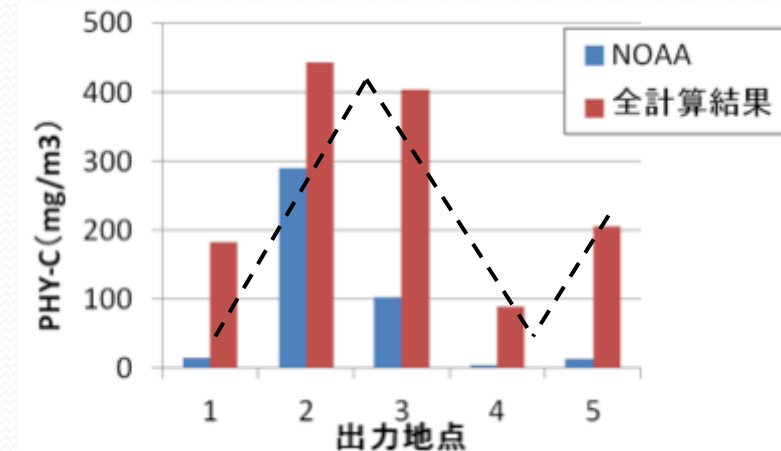
生態系モデルの検証

3.2 計算結果(生態系モデル)

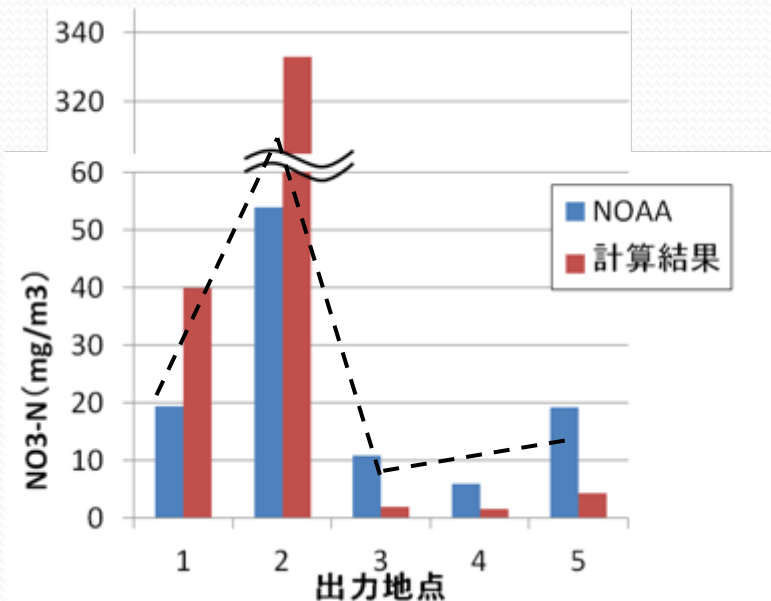
- 各領域における年間平均(表層) (左上:リン 左下:窒素 右上:植物プランクトン)



リン酸態リン(PO4-P)の年間平均値



植物プランクトンの年間平均値



硝酸態窒素(NO3-N)の年間平均値



出力領域

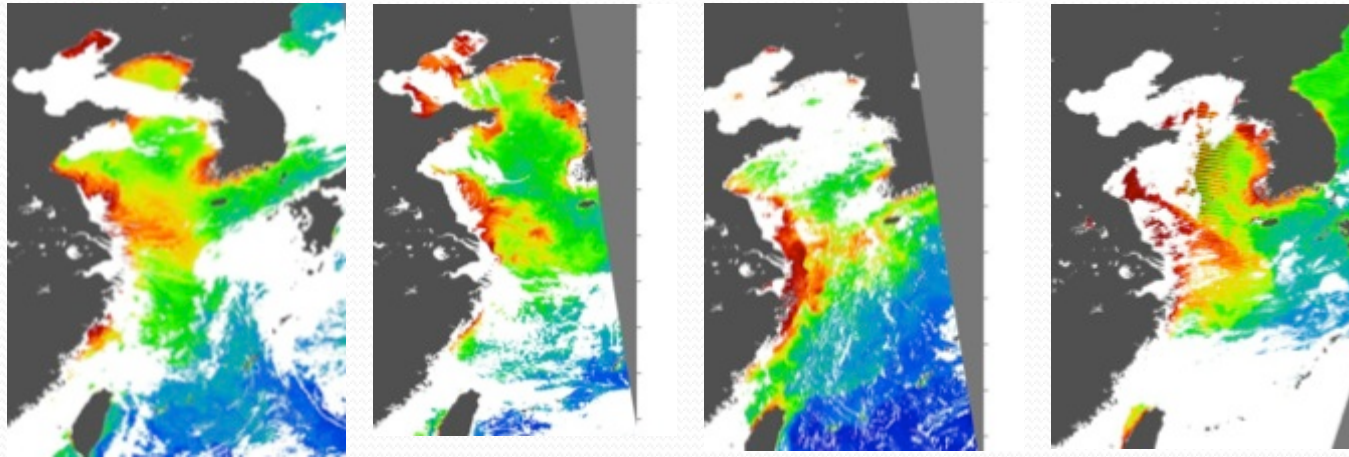
空間的な分布の傾向は再現できている

生態系モデルの検証

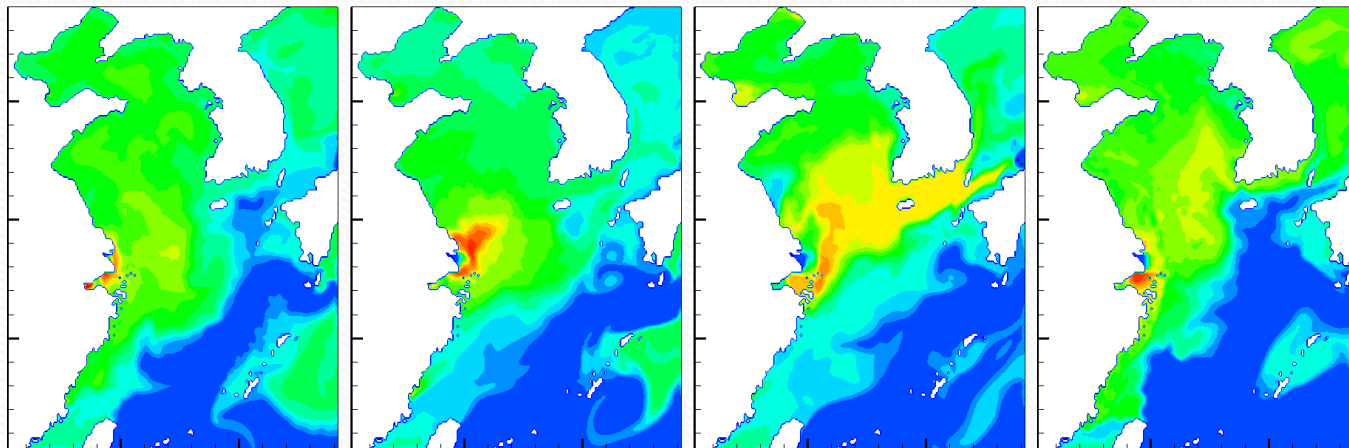
3.2 計算結果(生態系モデル)

- クロロフィル(表層)分布の比較

衛星画像



計算値



2007/03/01

2007/06/01

2007/09/01

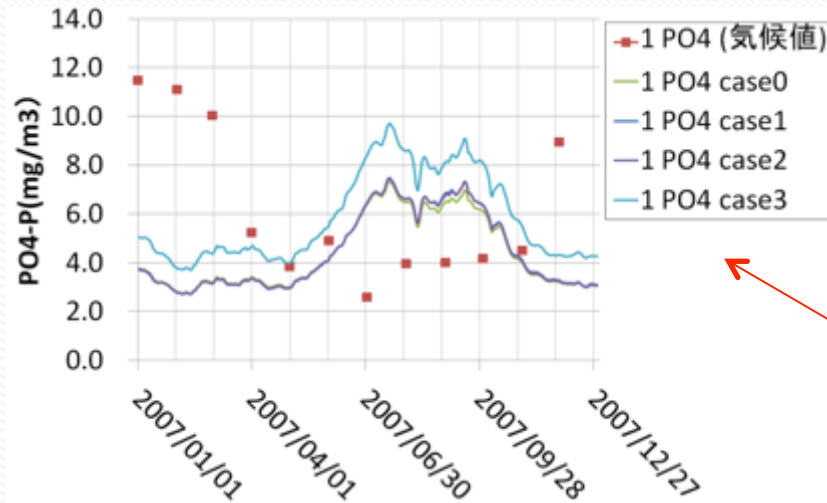
2007/12/01

空間的な分布の傾向は再現できている

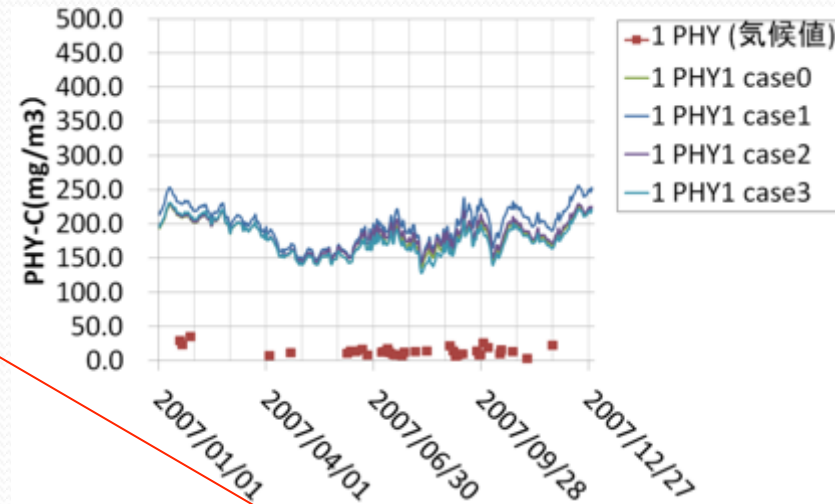
生態系モデルの検証

3.2 計算結果(生態系モデル)

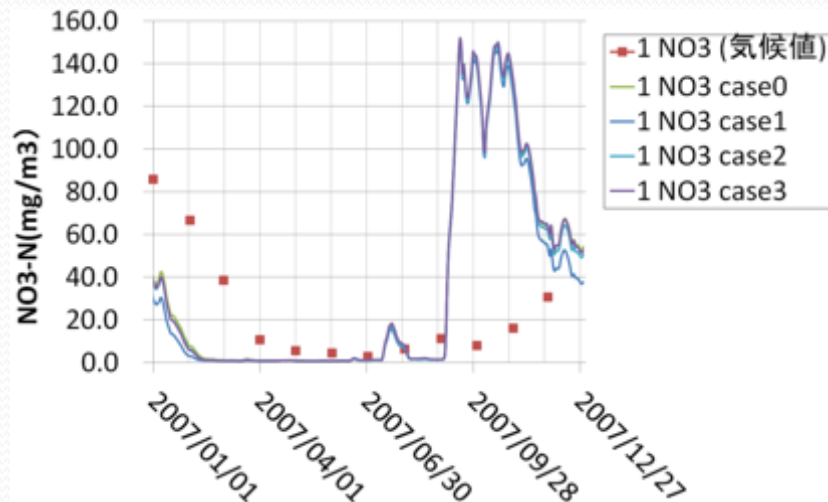
- 領域①の時系列変化(表層)(左上:リン 左下:窒素 右上:植物プランクトン)



リン酸態リン(PO4-P)の時系列変化



植物プランクトンの時系列変化



硝酸態窒素(NO3-N)の時系列変化



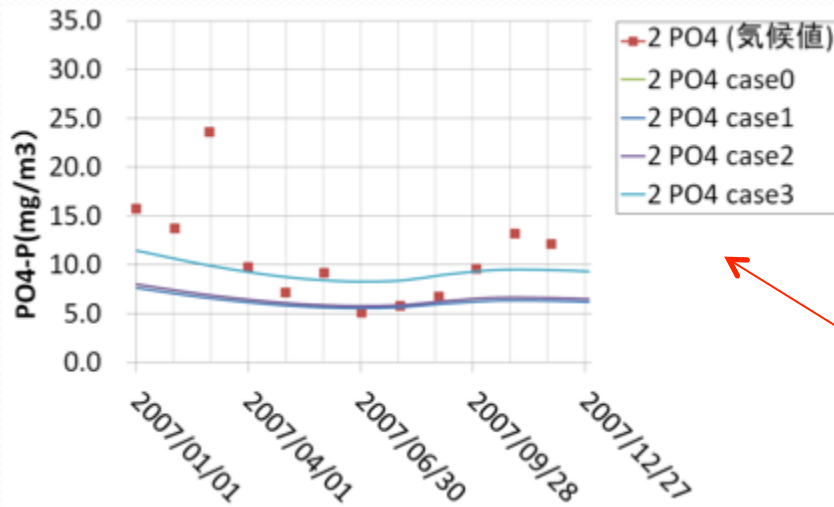
出力領域

季節変動の
タイミングが
ずれている

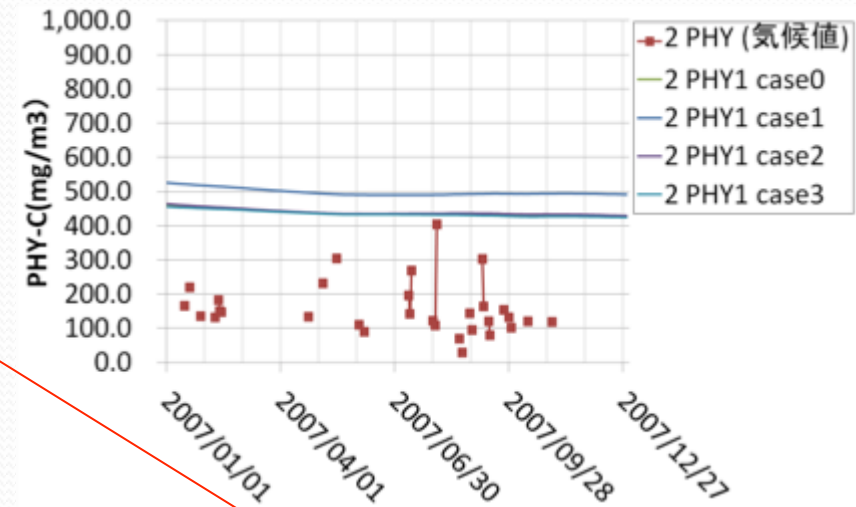
生態系モデルの検証

3.2 計算結果(生態系モデル)

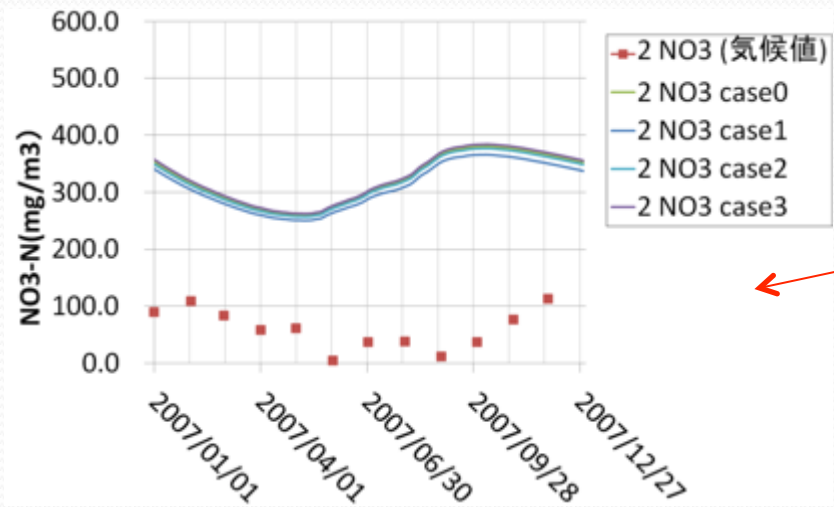
- 領域②の時系列変化(表層) (左上:リン 左下:窒素 右上:植物プランクトン)



リン酸態リン(PO4-P)の時系列変化



植物プランクトンの時系列変化



硝酸態窒素(NO3-N)の時系列変化



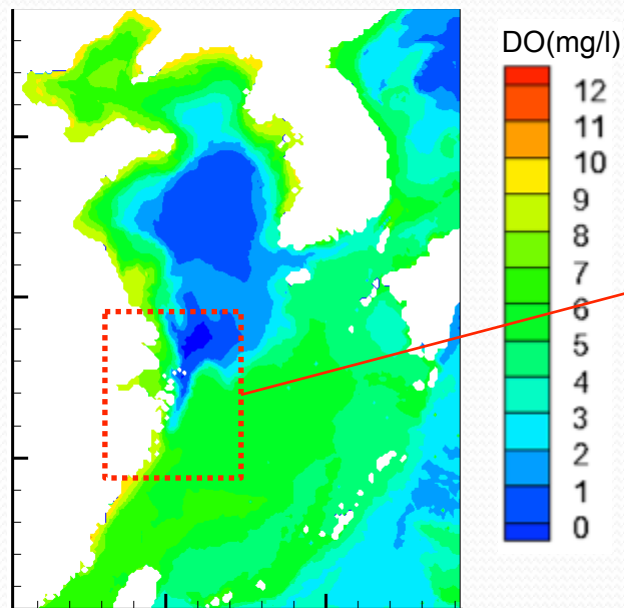
出力領域

季節変動のおおよその傾向は再現されている

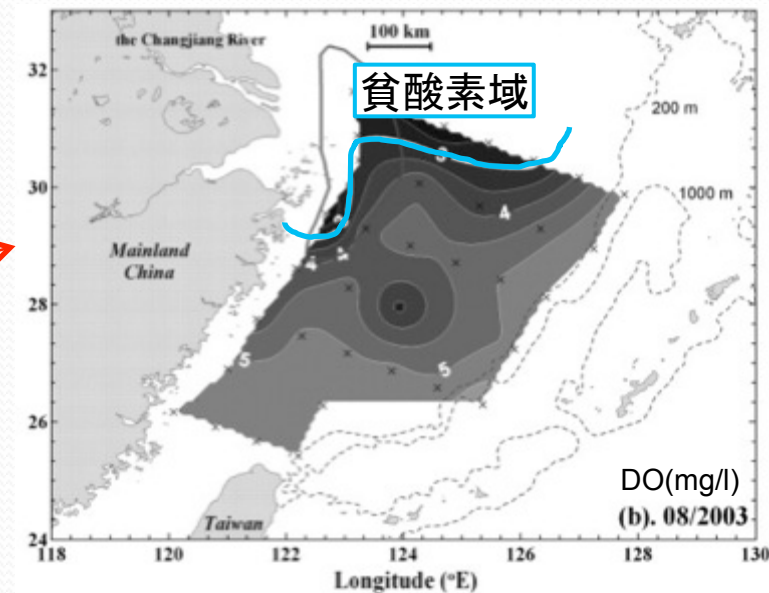
溶存酸素の分布

3.2 計算結果(生態系モデル)

- 溶存酸素(夏季・底層)の分布の比較(左:計算値 右:観測値)



溶存酸素の分布(底層)
(計算値 2007/8月)



溶存酸素の分布(底層)
(観測値[Chen.et.al 2007])

年度は異なるものの
底層溶存酸素の空間的な分布の傾向は再現できている

- 1, 背景,目的
- 2, 研究手法
 - 2.1 計算モデルとその修正
 - 2.2 計算条件
- 3, 計算結果
 - 3.1 物理モデル
 - 3.2 生態系モデル
- 4, 結果の考察
- 5, 結論
- 6, 今後の課題

生態系モデルの検討

4 計算結果の考察

生態系モデルの計算結果

- ・空間的な分布は再現できていた ○
- ・季節変動は再現できなかった △



季節変動に大きく関わるもの
 日射量: 光合成にのみ寄与
 水温: 多くの反応に寄与



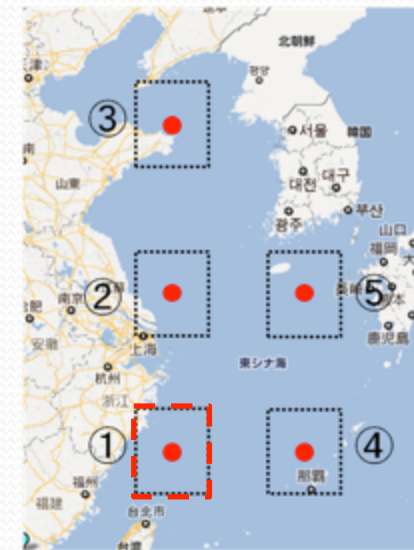
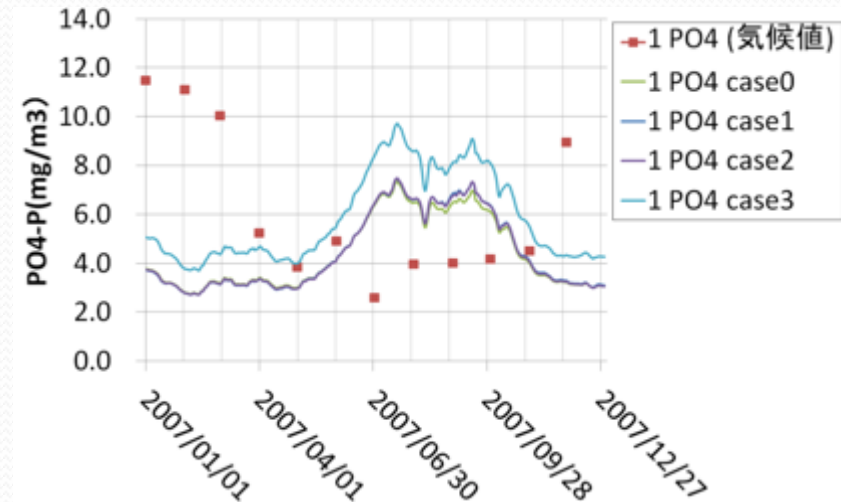
水温応答を無くして($\beta=0$ として)計算

<温度応答係数(リンの事例)>

$$\frac{\partial(PO4)}{\partial t} = -B_2^P + [P:C]_{PHY} \cdot B_5 + [P:C]_{ZOO} \cdot B_{10} + [P:C]_{POC} \cdot B_{13} + [P:C]_{DOC} \cdot B_{16} + q_{PO4}$$

<懸濁有機物の分解の例>

$$B_{16} = \alpha_{16} \exp(\beta_{16}T) \cdot \frac{DO}{DO_{16} + DO} \cdot DOC$$



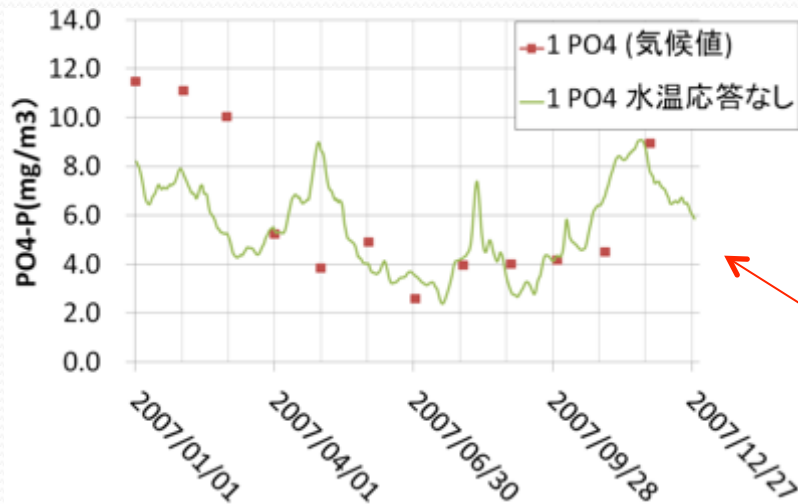
リン酸態リン(PO4-P)の時系列変化
 (領域①の事例)

生態系モデルの検討

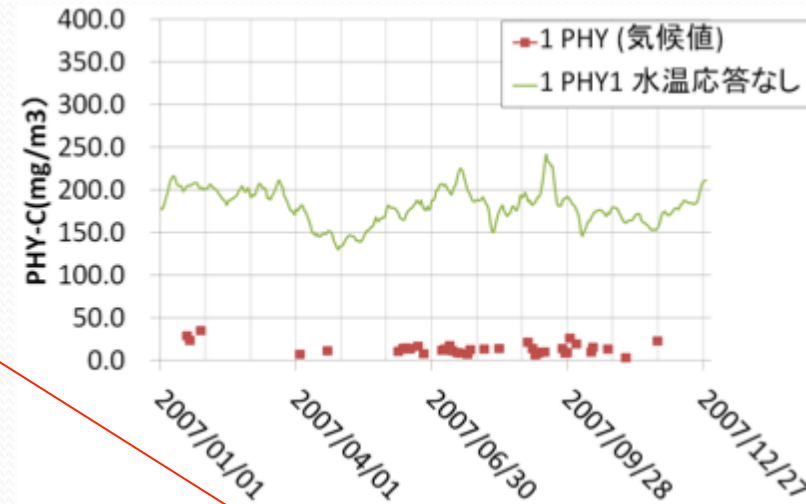
4 計算結果の考察

- 領域①の時系列変化(表層)(温度応答なし)

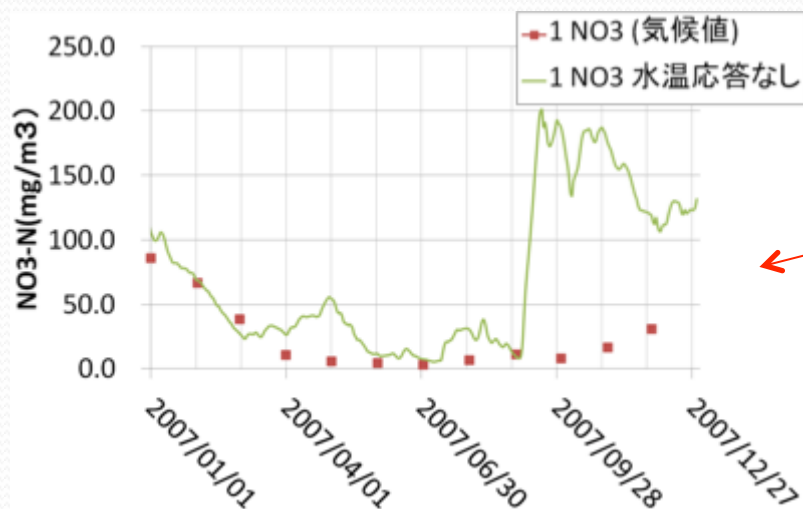
※論文内の図と体裁が異なる



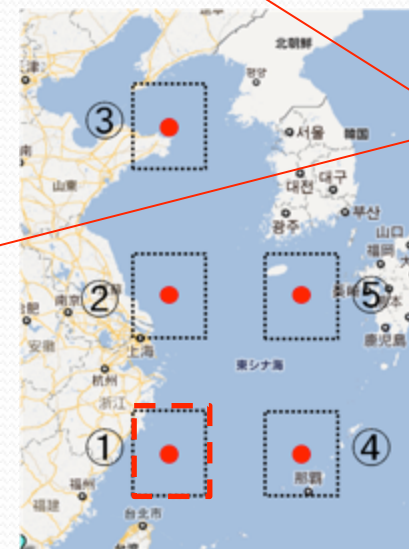
リン酸態リン(PO4-P)の時系列変化



植物プランクトンの時系列変化



硝酸態窒素(NO3-N)の時系列変化



出力領域

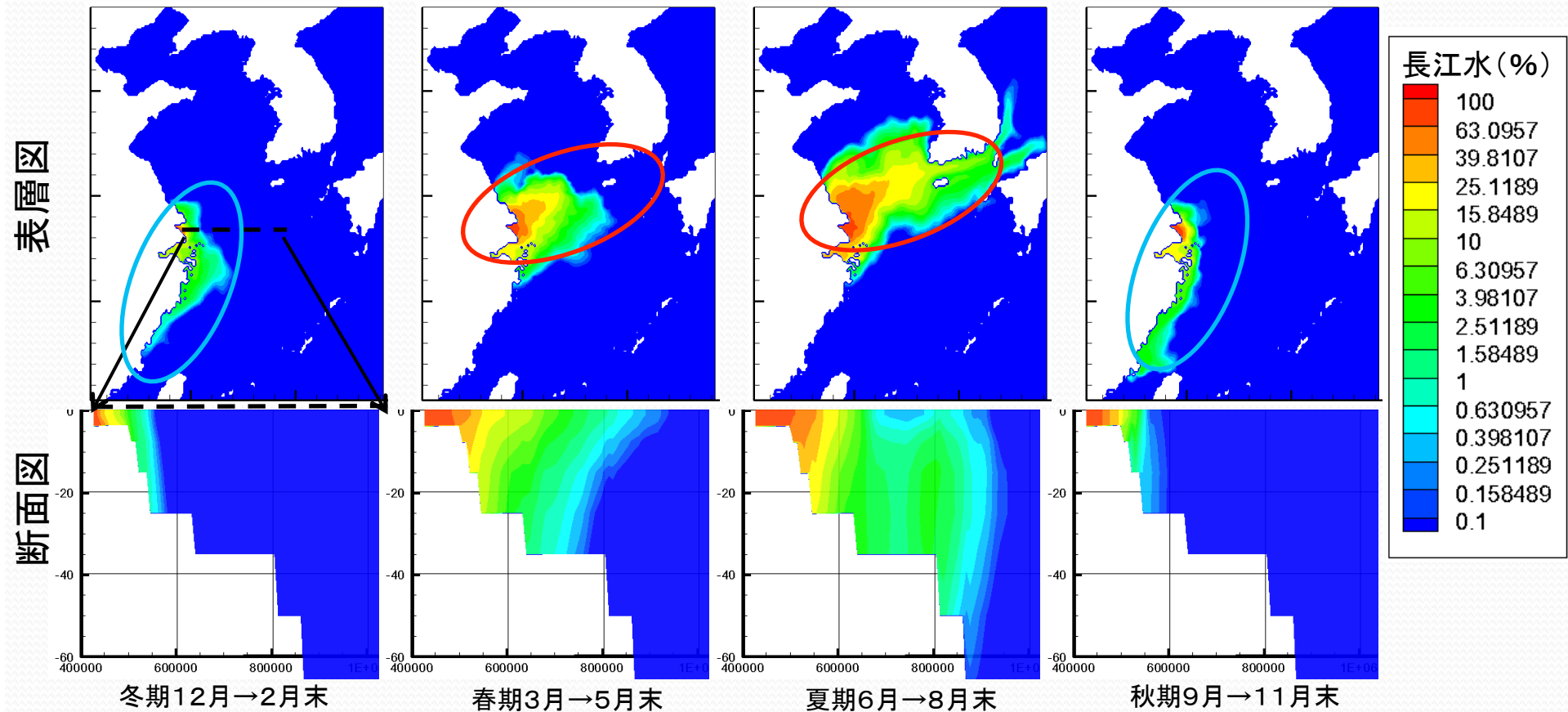
この海域の季節変動は β (温度応答係数)の影響を受けている

流動場の考察

4 計算結果の考察

- 長江水の広がり(潮流+海流)(上段:表層 下段:断面)

※論文提出後に再計算



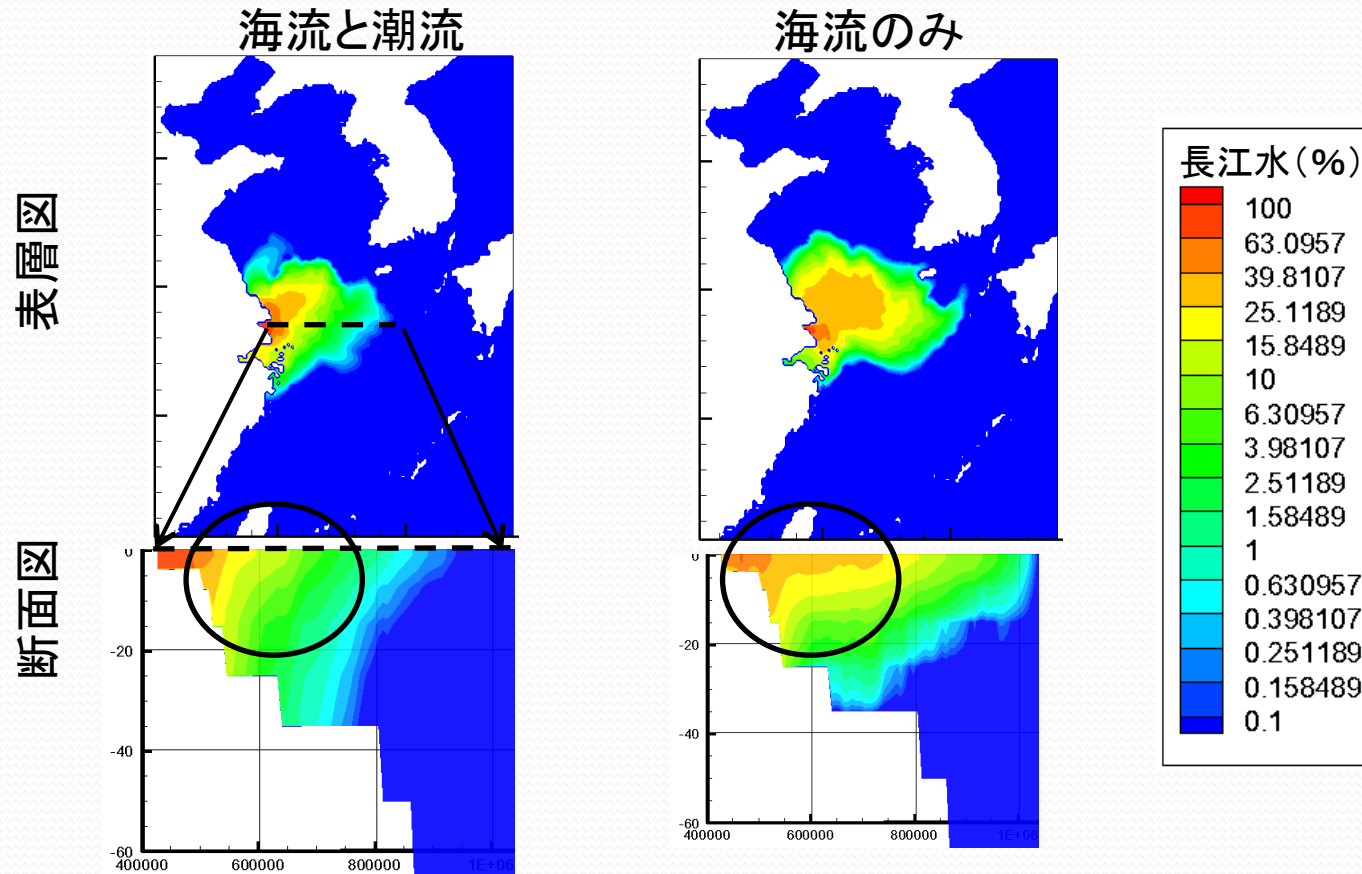
長江水の広がり方に明確な季節変動が確認される
風向や河川水量の季節変化の影響だと考えられる

流動場の考察

4 計算結果の考察

- 長江水の広がり(春季)(上段:表層 下段:断面)

※論文提出後に再計算



海流+潮流の場合:鉛直方向にかき混ぜられている

海流のみの場合: 水平方向には広がるものの鉛直方向に濃度差が見られる

河川水の水平方向の広がりにはエスチャリー循環や海流の寄与が大きく、潮流の働きは鉛直混合効果大きい

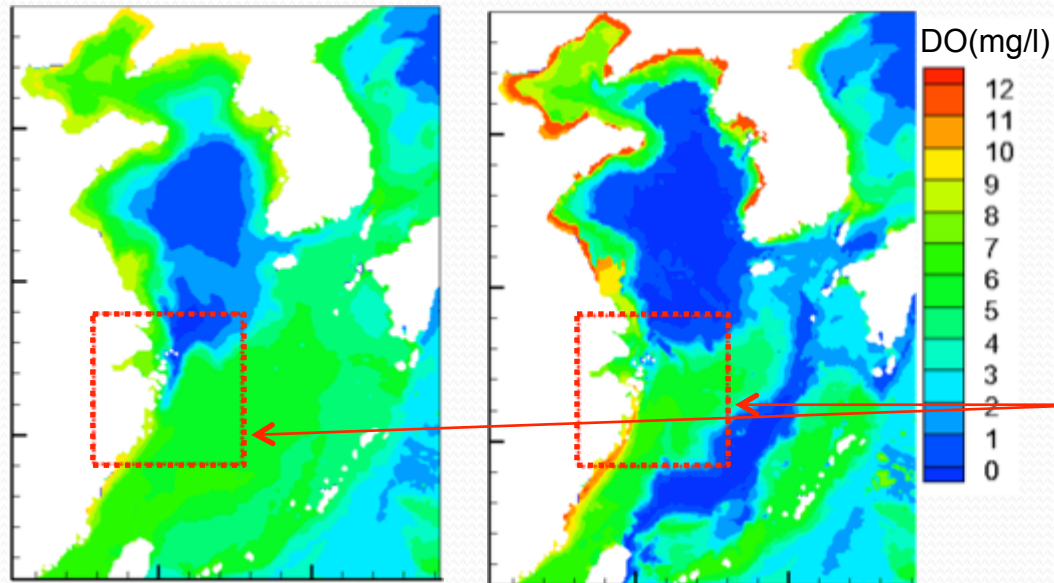
溶存酸素

4 計算結果の考察

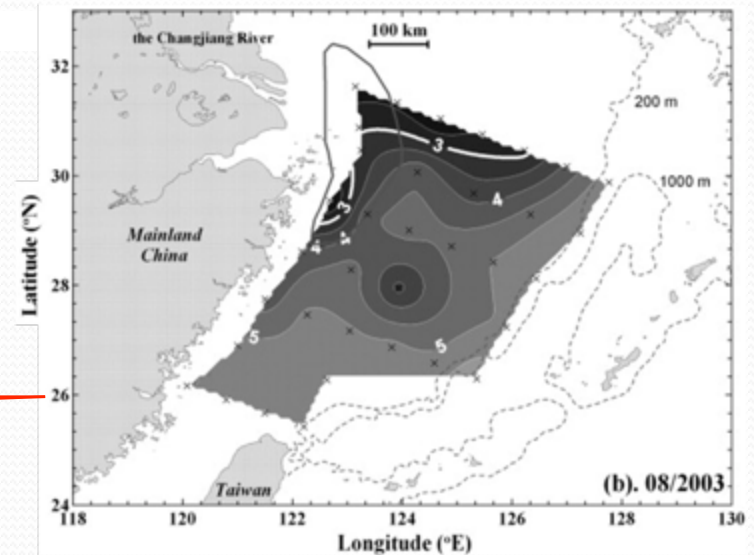
- 底層溶存酸素の分布(8月)(左:計算値 右:観測値)

海流と潮流

海流のみ



溶存酸素の分布(底層)
(計算値 2007/8月)



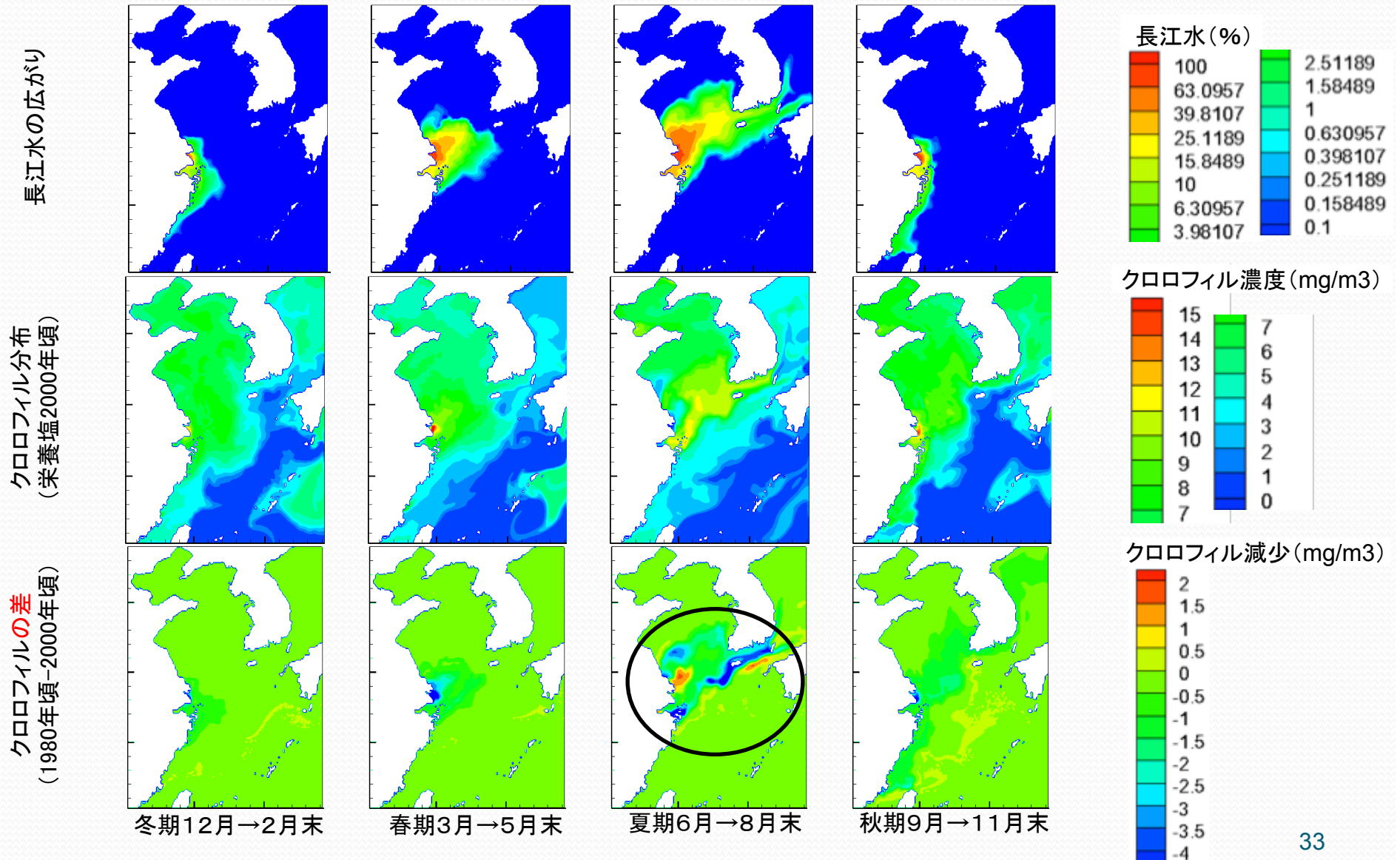
溶存酸素の分布(底層)
(観測値[Chen.et.al 2007])

底層の貧酸素の具合が緩和されている
潮流の鉛直混合効果の為に表層の溶存酸素が供給されたことが理由と思われる

長江水の影響解析

4 計算結果の考察

- 長江起源の栄養塩類濃度を1980年の値で計算し、結果の比較(表層)



- 東シナ海において、潮流と海流を同時に考慮した流動モデルを作成し、物質輸送や低次生態系の計算を行った。
- 栄養塩類や植物プランクトンの空間分布は概ね再現できた。一部の海域では季節変動は再現できず、その検討を行なった。
- 長江水の挙動に大きな季節変動があることが確認された。
- 潮汐混合が東シナ海全体の物質輸送や、生態系(底層貧酸素)に影響を与えていることが示された。
- 長江起源の栄養塩類が東シナ海全体の海洋環境に関わり、日本(九州)近海にまで影響を及ぼしている可能性が示唆された。

- パラメータ修正等による更なる再現性の向上
- 他の生態系影響要因(栄養塩類の底層からの溶出, 大気との相互作用, 土砂による日射の遮蔽, など)の考慮
- 陸域負荷の更に詳細な影響解析

ご清聴ありがとうございました