

東シナ海の物質輸送と生態系のシミュレーション

Numerical Simulation of material transport and ecosystem in the East China Sea

学籍番号 47-116641 小松田 真二

指導教員 多部田 茂 准教授

(平成 25 年 3 月 25 日修了)

Keywords: 海流, 黒潮, 潮流, 河川, 東シナ海, 低次生態系, 数値シミュレーション

Keywords: current, kuroshio, tide, river, East China Sea, numerical simulation

1. 序論

東シナ海の環境問題は近年深刻化している。赤潮の発生や漁業資源の枯渇、貧酸素水塊の発生が問題になっている。加えて、沿岸国の経済発展に伴い、大規模洋上風力発電施設の建設計画や貿易航路としての利用、ガス・鉱物などの資源開発等の海洋開発が予測され、それに伴う環境負荷は今後も増えていくと思われる。持続可能な海洋利用の為に、海域の生態系を適切に保全することが重要であるが、その為には海域環境の数値シミュレーションが有効な手段の一つである。

東シナ海の数値シミュレーションに関する先行研究としては、流動などの物理場に注目したものは多いものの、生態系を対象としたものは少ない。特に陸域からの負荷の情報が限られている為に、その影響についての検討はあまり行われていない。

中国の経済発展や人口増加の為に、工業排水や農業肥料などの化学物質が河川に大量に流入していることが予測される。特に、長江・黄河流域における汚濁負荷は非常に大きく、陸域から海域へ流出する淡水量は、長江を例にすると年間約 9,800 億 m^3 にも達する[1]。その為に中国大陸における汚濁は、流域内で留まることなく我が国沿岸を含めた東シナ海全体に及ぶ。

Fig.1 は計算期間内の潮流と海流の絶対値の平均値の差を示している。東シナ海は、海流の影響が大きい黒潮等の海域と、潮流の影響が卓越する比較的浅い沿岸海域の両方を合わせ持つ。この海域でより正確な生態系シミュレーションを行う為には、潮流と海流の両方を考慮する必要がある。本研究では、東シナ海程度のスケールの海域において、海流と潮流を同時に考慮し、生態系シミュレーションを行い、その変動を解析することを目的として、以下の方法で計算を実施した。まず、海流と密度場については、海洋開発研究機構による日本沿岸予測実験計画(JCOPE: Japan Coastal Ocean Predictability Experiment)によってデータ同化を用いた現実的な情報が提供されているため、そのデータを利用する。同時に、潮汐を駆動力として潮流を計算し、これらを足し合わせることで簡便な方法で海域の物理場を再現する。その物理場にて化学物質の移流や生態系モデルの計算を行う。

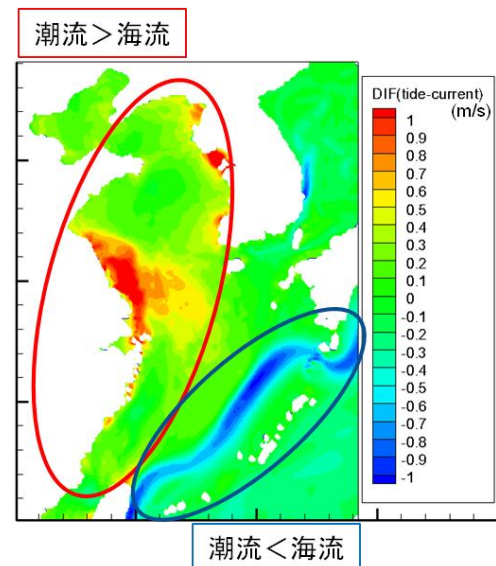


Fig.1 Distribution map of ocean currents difference between JCOPE2 and calculated data

2. 数値シミュレーションの概要

2.1 計算モデル

計算モデルとして、日本造船学会海洋環境研究委員会が開発した Marine Environment Committee Model[2] (以下 MEC モデルと記す) を一部修正して用いる。このモデルは、3次元のマルチスケール海洋モデルである。計算時間を短縮するため静水圧モデルを用いた。静水圧モデルの鉛直拡散には Munk-Anderson の成層化関数を用いた。流れの支配方程式は運動方程式、連続の式で、物質の輸送は移流拡散方程式に従う。

本研究では、ある地点での流動 u は潮流 u_t (「潮流」と呼ぶ) とそれ以外の流動成分 u_c (「海流」と呼ぶ) の線形結合で表せると仮定する(式(1))。流れの足し合わせにおいて非線形性は考慮しない。なお、JCOPE2 の流速は水平方向のみを考慮する。海流による鉛直方向の拡散は、鉛直渦拡散によ

て考慮する.

$$\mathbf{u} = \mathbf{u}_t + \mathbf{u}_c \quad (1)$$

潮流 \mathbf{u}_t は、外力として開境界で潮位変動を与えることで計算する. 潮汐データには国立天文台による潮汐モデル NAO99b[3]による主要分潮の角振動数や振幅や位相のデータを各開境界セルに与える. 潮流の計算の際の圧力項は静水圧から求められ、静水圧は密度から求められる. その密度に JCOPE2 の密度場を用いると、その密度勾配による密度流が潮流の一部として計算される. しかし、この流れは JCOPE2 の計算結果に含まれているので、潮流として計算させないように静水圧を計算する際は密度は一定値として計算する.

鉛直渦拡散は水平方向の流速シアの計算には潮流と海流を考慮するが、鉛直渦動粘性係数の計算時には潮流のみにする. 潮流と海流は独立に計算しているので、Navier-Stokes 式の粘性係数に海流の鉛直シアは考慮しない.

潮汐以外の流動成分 \mathbf{u}_c および水温、塩分は JCOPE2 のデータを用いる. そのデータは1日毎にあるので、間は時間補間した.

生態系モデルでは有機物質4種、無機物質7種と溶存酸素の挙動を扱う (Fig.2). 各要素 Q は前述の流れ場と結合し、式(2)に従って移流拡散による物質輸送が計算される. 各種パラメータは先行研究[4]より引用した.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + u \frac{\partial Q}{\partial x} + v \frac{\partial Q}{\partial y} + w \frac{\partial Q}{\partial z} = A_c \left(\frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 Q}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_c \frac{\partial Q}{\partial z} \right) + (\text{化学生物過程}) \quad (2)$$

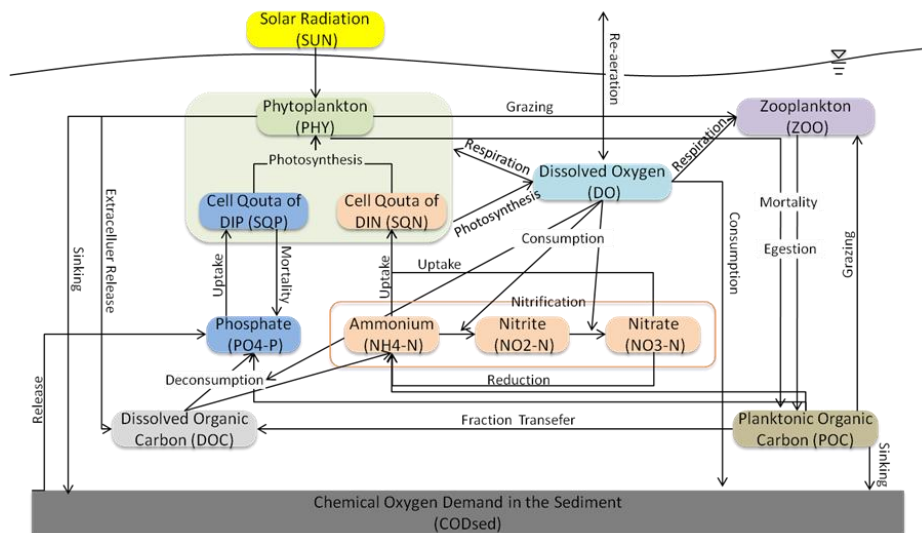


Fig.2 Compartments of ecosystem model

2.2 計算条件

計算期間は2006年6月から2007年12月とする. 計算領域は、Fig.3に示す北緯24度-41度および東経117度-132度であり、東シナ海や黄海、渤海を含む領域である. 利用する JCOPE2 のデータの解像度に合わせて、水平方向の格子間隔は緯度経度で1/12度とした. 主な着目対象は東シナ海であり、その大半が水深200mより浅い海域であるため、鉛直方向の格子は上層から下層に向かうに従って格子幅が大きくなるようにした.

気温、気圧、雲量、湿度、降水量、風といった海面からのフラックスの影響は、JCOPE2 のデータに含まれているものとして本研究では考慮していない. JRA25 (Japanese Re-Analysis 25 years) のデータから推定した日射量のみを与え、植物プランクトンの光合成に利用した. 日射による水温上昇や海水蒸発も JCOPE2 の計算結果に含まれるものとして計算しない.

窒素やリンの初期条件や境界条件は、NOAA (National Oceanic



Fig.3 Calculating area

and Atmospheric Administration)の ERDDAP (the Environmental Research Division's Data Access Program) のデータを用いて、Fig.3 に示すように計算領域の南側のみ入力した。沖縄の東側や日本海の開境界条件の水質は東シナ海の生態系に大きな影響を及ぼさないと考えて等値外挿とした。

今回中国籍の共同研究者の協力の下、中国語の文献[5][6]からより詳細なデータを収集し入力した。入力する河川の河口はFig.3の赤丸で示してある。

3. 計算結果の検証

3.1 潮汐 (物理モデル)

主要4分潮の潮位と振幅に関して、東シナ海の沿岸部に配置した11地点における、計算結果と文献[7][8]のデータの比較をFig.4に示す。これらは概ね一致している。また、各分潮の位相や振幅を全海域で比べてみると、無潮点の位置など全体的な傾向も一致している。海域の潮汐は再現できたと考えられる。

3.2 栄養塩 (生態系モデル)

窒素(NO₃-N)とリン(PO₄-P)について、計算値と気候値との比較を行なった (Fig.4)。年間の平均値を比べてみると、地点間の大小関係といった栄養塩類の空間的な分布の傾向は再現できている。しかし、春に栄養塩類が増加するといった、季節変動は再現できなかった。

3.3 植物プランクトン (生態系モデル)

栄養塩類と同様に植物プランクトンに関しても年間の平均値を比べると、空間的な変動の傾向は再現できていると思われる。そして、季節変動は再現できていなかった。

JAXAの衛星画像と計算値を比べてみても、表層のクロロフィルのおおよその空間的な傾向は再現できていた。

4. 計算結果の考察

4.1 物理場の考察

長江と台湾海峡水にトレーサー (追跡子) を与えて、それらの水の挙動を確認した。長江起源水は季節風や河川流量に応じて、その広がり方に明瞭な季節変化が見られた。河口を通る断面をFig.7に示す。河口から流入したトレーサーは、潮汐の鉛直混合効果によって、鉛直方向に混合される。

また、台湾海峡水は春季と夏季は南からの季節風の影響で北に大きく張り出し、東シナ海の大部分に広がる。秋季や冬季は北からの季節風の影響から、広がる範囲は東シナ海南部に留まる。台湾海峡水は栄養塩類の濃度が高く、東シナ海の生態系に大きく影響していることが推測される。

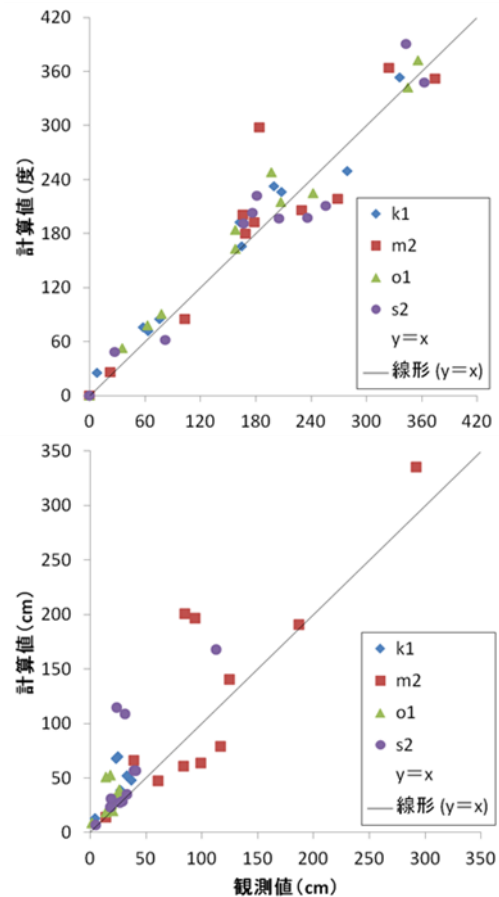


Fig.4 Phase and Amplitude between calculated data and observed data

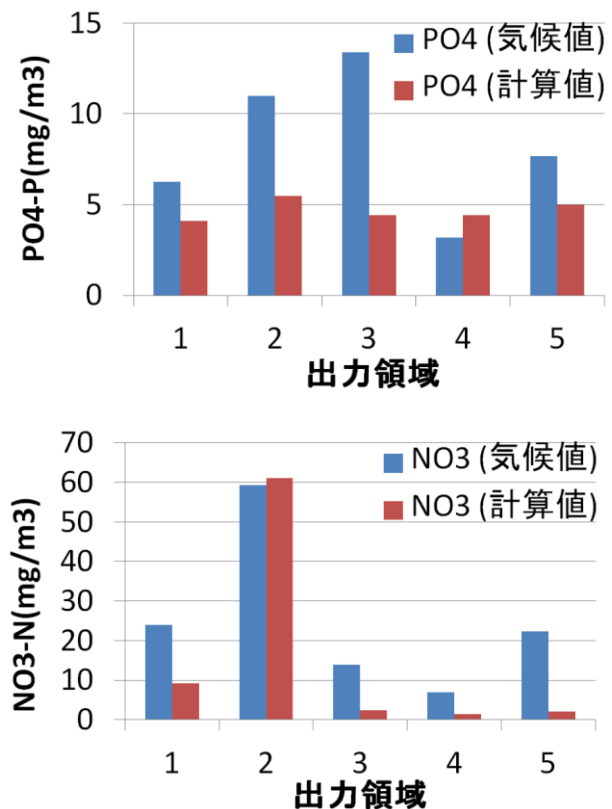


Fig.5 Annual average and nutrients

4.2 生態系の考察

長江から流入する栄養塩類の濃度を 1980 年頃のものに変えて計算した場合の表層のクロロフィルの減少量を, Fig.9 に示す. また, Fig.10 は長江起源水の広がり方の様子である. 両者とも変化が顕著に見られる夏季のものを載せてある.

長江から流入する栄養塩類の濃度を経済発展が著しくない 1980 年頃のものにすると, 東シナ海の一次生産が減少し, その範囲は長江起源水の広がる範囲と重なる部分が多い.

特に長江起源水が東シナ海に大きく張り出す夏季に於いては, 一次生産の減少が東シナ海の大部分, 対馬近海にまで見られる.

5, 結論

東シナ海に於いて潮流と海流を同時に考慮した流動モデルを構築し, 物質輸送や生態系のシミュレーションを行なった. 栄養塩類, 植物プランクトンの空間的分布は概ね再現できたが, 季節変動は再現できなかった. また, 長江水や台湾海峡水の広がりにも明確な季節変動が見られた. 潮汐混合が物質輸送や生態系に影響を与えていることも示された. 中国の経済発展によって増大した長江の栄養塩類は, 東シナ海全体の生態系に影響し, 日本(九州)近海にまで及ぶ可能性があることが示唆された.

参考文献

- [1] 越川海 (2004): 長江経由の環境負荷が東シナ海・長江河口域の海洋環境に及ぼす影響に関する研究, 国立環境研究所ニュース 23 巻 4 号: <http://www.nies.go.jp/kanko/news/23/23-4/23-4-02.html>
- [2] 木下嗣基(2002): ネスティングバージョンの概要, 第 3 回 MEC モデルワークショップ, pp.165-172
- [3] Matsumoto, K., T. Takanezawa, and M. Ooe, Ocean Tide Models Developed by Assimilating TOPEX/POSEIDON Altimeter Data into Hydrodynamical Model: A Global Model and a Regional Model Around Japan, Journal of Oceanography, 56, 567-581, 2000. T. Zousen *et al.*: A study on the method for writing papers, Journal of Marine Science and Technology, Vol2, 1998, pp.22-34.
- [4] Zhao, L. and X. Guo (2011): Influence of cross-shelf water transport on nutrients and phytoplankton in the East China Sea: a model study.
- [5] 中国海灣志編纂委員会, 海洋出版社: 中国海灣志
- [6] Sun Binbin, Zhou Guohua, We Hualing, et al. The flux of river active material flowing into the sea: Preliminary achievements. Earth Science Frontier, 2009, 16(2), 361-368
- [7] 温宗文: 海洋図集 pp.429
- [8] 中野猿人: 潮汐學, pp.493-509

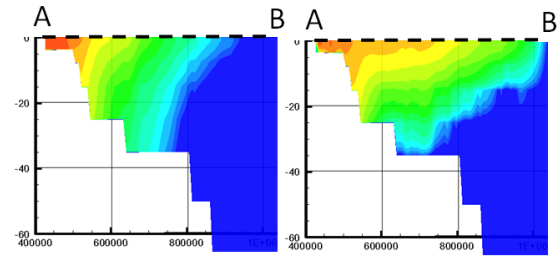


Fig.7 Cross-sectional view of Changjiang estuary (JCOPE2+tide and only JCOPE2)

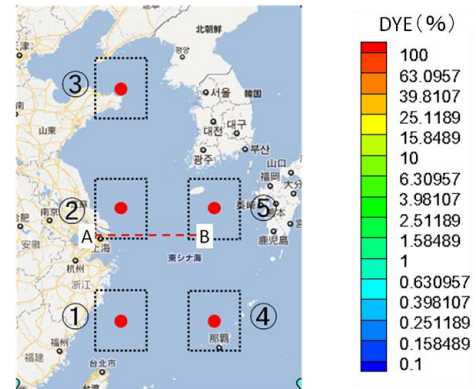


Fig.8 Map of output areas

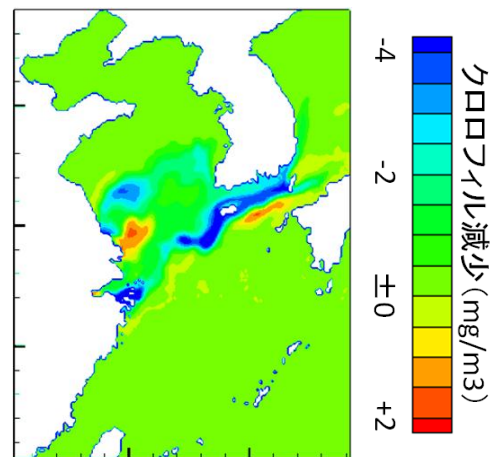


Fig.9 Decrease of chlorophyll-a

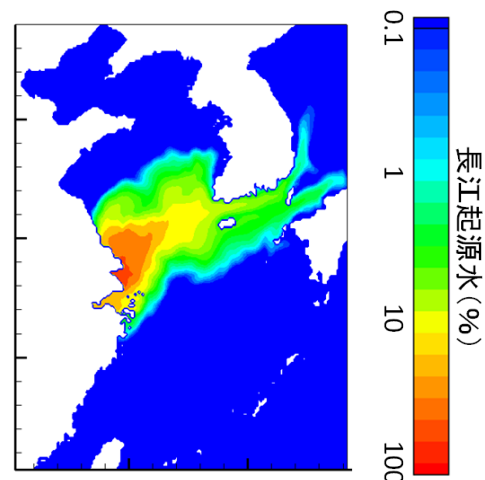


Fig.10 Spread of Changjiang River water