

第Ⅱ部門

季節変動を伴う水質モデルパラメータの多項式カオス展開による最適化に関する検討

大阪大学工学部 学生会員 ○小田航平
大阪大学大学院工学研究科 学生会員 岡田輝久

大阪大学大学院工学研究科 学生会員 廣瀬文明
大阪大学大学院工学研究科 正会員 入江政安

1. はじめに

日本の閉鎖性内湾の水質改善は近年横ばいのままであり、大阪湾では現在、毎年 20 件程度の赤潮が観測されている¹⁾。水質汚濁機構を解明するには水質モデルを用いた数値シミュレーションが有効であるが、水質モデルには多数のモデルパラメータが存在し、それらのパラメータは、水温などの変数に依存させるか、あるいは一定値として与えている。この中には、十分に理解されていないパラメータや文献値を利用している例も多く、値の不確実性は大きい。そこで、本研究では、試行計算回数が少なくすむ多項式カオス展開を用いて、大阪湾を例に、季節変動を伴う水質モデルパラメータを最適化した。また、最適化結果を用いて再現計算を実施した。

2. 数値モデルの概要

本研究の流動水質モデルには、Regional Ocean Modeling System (ROMS)を用いた。ROMS は静水圧 3 次元流動モデルをベースとして、水質モデル、気象モデル、波浪モデル、土砂輸送モデルといった様々なモデルを一体的に扱うことができるシステムである。水質モデルとしては、ROMS に接続されたモデルの一つである Fennel ら (2006)²⁾による水質モデルに、リンに関する項目の追加等の改良が施された

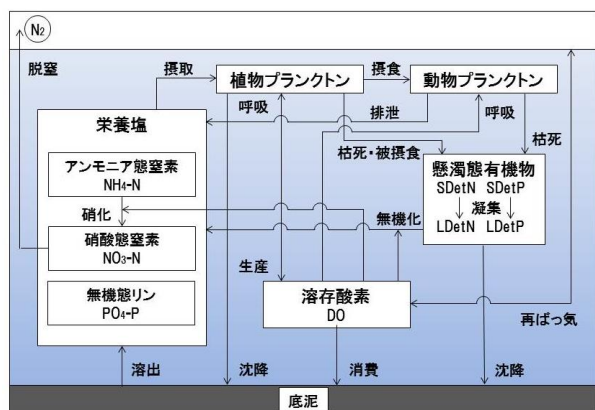


図-1 水質モデルの概念図

モデルを用いた。図-1 に本研究で用いる水質モデルの概念図を示す。この水質モデルでは海水中の水質項目として、植物プランクトン、クロロフィル、動物プランクトン、アンモニア態窒素、硝酸態窒素、リン酸態リン、懸濁態有機物、溶存酸素を取り扱う。

計算領域は、大阪湾を中心とした東西 60 km、南北 63.5 km の海域とし、水平には湾奥部で 500 m、湾奥部以外で 1000 m となるように分割し、鉛直方向には 20 層で分割し、表層で細くなるように設定した。計算期間については助走計算期間を 3 ヶ月とし、本計算期間を 2012 年の 1 年間とした。

3. パラメータ最適化

(1) 最適化方法

本研究では、多項式カオス展開をパラメータ最適化手法として用いる。多項式カオス展開はモデルの入力の不確実性を定量的に評価する数値解析法である。少数のパラメータ値設定を用いたモデル計算結果を用いて補間を行うため、不確実性の大きなパラメータであっても、効率的にパラメータの最適化を行うことができる。以下に多項式カオス展開の基礎式を示す。

$$f(\theta) = \sum_{k=0}^{k_{\max}} a_k \varphi_k(\theta) + \varepsilon_{\text{trunc}}(\theta)$$

ここで、 θ : 不確実性をもつパラメータ、 $f(\theta)$: モデルの出力、 a_k : 展開係数、 $\varphi_k(\theta)$: k 次の直交多項式、 $k_{\max}$: 最大次数、 $\varepsilon_{\text{trunc}}(\theta)$: 打ち切り誤差である。多項式カオス展開を水質モデルパラメータに適用した事例としては Mattern ら (2012)³⁾があり本研究もこれに倣う。本検討では、水質モデルのプランクトンの生成消滅式に含まれる 2 つのパラメータを最適化対象とした。第 1 は元のモデルでは最適水温型で与えていた増殖速度 μ' (最大増殖速度と水

温による制約条件の積)で、第2は年一定値で与えていた沈降速度 w_p である。これらのパラメータについて、7.5日を1区間とし、1年間で49区間のパラメータ最適値を求めた。計算結果の比較には、大阪湾水質定点観測システムにおいてクロロフィル a を計測している7地点から、淀川河口と堺浜を除いた5地点における海面から底層までの1m間隔のクロロフィル a 濃度の観測値を用い、RMSE (Root Mean Squared Error, 二乗平均平方根誤差) を用いた。

(2) 最適化結果

図-2に春季(2012年4月22日から)、冬季(2012年12月3日から)の2期間でパラメータを変化させた場合のRMSEの水平分布、図-3に増殖速度 μ' と沈降速度 w_p の最適値の季節変動を示す。双方とも最適値の変動が大きい結果となった。また、文献値と比べて、増殖速度 μ' の最適値は夏季で小さく、冬季で大きい値となった。沈降速度 w_p の最適値については、設定範囲内の最小値をとる区間が多かった。

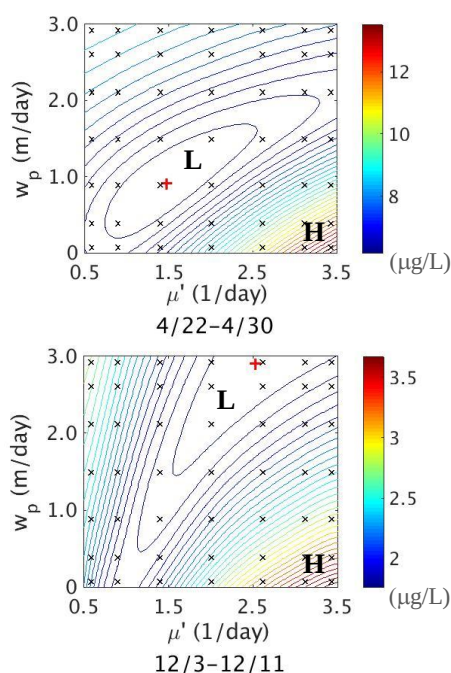


図-2 春季、冬季におけるRMSEの水平分布

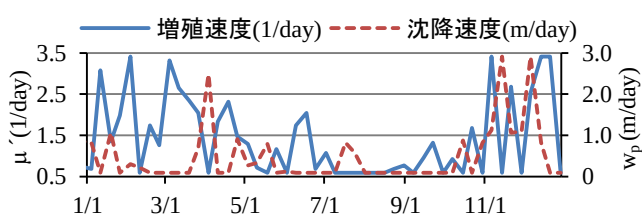


図-3 パラメータ最適値の季節変動

このパラメータ最適化結果を用いてクロロフィル a 濃度の再現計算を改めて実施した。図-4に神戸港における表層クロロフィル a 濃度の経時変化を示す。計算値(最適水温型)とは、元のモデルを用いた場合で、増殖速度は水温依存、沈降速度は一定の場合の計算値である。パラメータ最適値を用いることで、既存のパラメータ値では再現できていなかった春季のブルームを再現することができた。

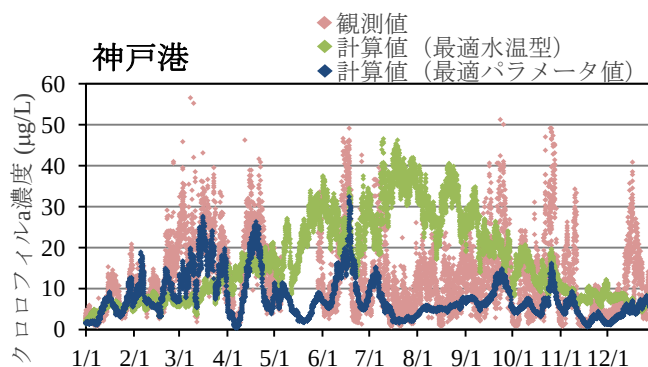


図-4 表層クロロフィル a 濃度の経時変化

4. まとめ

多項式カオス展開を用いて、季節変動を伴う水質モデルパラメータを最適化した。また、最適化結果を用いることで、表層クロロフィル a 濃度の変動の再現精度が向上した。ただし、夏季のクロロフィル a 濃度の鉛直勾配について課題が残ることから、今後、光による制約条件等を含めさらに検討したい。

謝辞 本研究は統計数理研究所共同プログラム(27-共研-1032)およびJSPS 科研費 25709042 の助成を受けて実施したものである。記して謝意を表する。

参考文献 1) 大阪湾環境データベース

(<http://kouwan.pa.kkr.mlit.go.jp/kankyo-db/>), 2016

2) Fennel, K., J. Wilkin, J. Moisan, J. O'Reilly and D. Haidvogel: Nitrogen cycling in the Middle Atlantic Bight: Results from a three-dimensional model and implications for the North Atlantic nitrogen budget, Global Biogeochemical Cycles, 20, GB3007, doi: 10.1029/2005GB002456, 2006

3) Jann Paul Mattern, Katja Fennel, Michael Dowd: Estimating time-dependent parameters for a biological ocean model using an emulator approach, Journal of Marine Systems, 96-97, pp.32-47, 2012