

(第6号様式)

学位論文審査の結果の要旨

氏名	Wang Aobo
審査委員	主査 郭新宇 副査 日向博文 副査 森本昭彦 副査 国末達也

論文名 Development and application of transport models for organic pollutants in the shelf seas

審査結果の要旨

陸上で放出される有機汚染物質は河川と大気を経由して最終的に陸棚域 (shelf sea) を含む海洋に入る。陸棚域におけるこれらの有機汚染物質の挙動を考える上では、陸棚域の特性を考慮する必要がある。陸棚域では成層域と混合域が混在し、外洋域にない独特な水塊構造が存在する。さらに河川や堆積物由来の懸濁粒子も存在し、有機汚染物質の濃度分布に影響を与える。

有機汚染物質は、自然界に長く存在する分解性の低いものと一定の時間しか存在しない分解性のあるものに分けられる。前者は残留性有機汚染物質 (POPs) と呼ばれている。海水の滞留時間を考えると、外洋には基本的に POPs だけが存在する。一方、陸に近い陸棚域には両者とも存在する。

Wang Aobo 氏は、本学位論文において、このような背景を考慮した陸棚域における有機汚染物質の輸送モデルを構築した。まず、分解性のある物質の代表として河川由来の抗生物質のシミュレーションモデルを作成し、それを北部タイランド湾に適用させた。次に、陸棚域でよく見られる底部冷水塊の三次元構造を表現する流動モデルとそれをベースにした低次生態系モデルと POPs モデルを構築し、底部冷水塊に取り込まれる POPs 濃度の増減メカニズムを調べた。さらに、底部冷水塊を有する黄海を対象にして海水流動・低次生態系・POPs 輸送モデルを構築し、POPs の季節変化と底部冷水塊との関係を調べた。最後に、懸濁粒子濃度の高い渤海をターゲットにして、堆積物と河川由来の懸濁粒子の季節変動を再現する懸濁粒子モデルを POPs 輸送モデルに導入し、懸濁粒子が POPs の濃度変化に与える影響を調べた。それぞれの部分について、詳細は以下の通りである。

(1) 北部タイランド湾 (UGoT) におけるスルファメトキサゾール (SMX) の分布

先行研究で報告された SMX の半減期を UGoT の流動モデルに導入し、SMX の空間分布と季節変化を再現した。河川からの SMX 負荷は 8 月の観測データを参考にして算出した。計算結果では SMX の濃度は河口からの距離に比例して減少する。また、湾内の濃度分布に顕著な季節変化が見られる。SMX と塩分との関係から海水による希釈効果が SMX の濃度分布に影響することが分かった。さらに湾内の SMX 濃度は河川負荷と半減期でほぼ説明できることを確認した。

(2) 底部冷水塊における POPs の蓄積過程

POPs は一般に疎水性で、海水中の粒子に容易に吸着されるため、生物粒子（植物プランクトン、動物プランクトン、デトリタスなど）と懸濁粒子の分布は海水中の POPs 濃度に影響を与える。先行研究で報告されている海水中の POPs の分布を比較すると、いくつかの興味深いものを見つけた。たとえば、POPs の高濃度域は河口域だけではなく沖合海域にも存在する。また、同じ場所では、ある種類の POPs が水深方向に増加するプロファイルを示す一方、別の POPs が減少するプロファイルを示す。

このような現象を理解するため、底部冷水塊を表現できる流動モデルに低次生態系・POPs の結合モデルを導入し、溶存態 POPs が生物粒子に吸着され、生物粒子の沈降に伴い下層に運ばれ、さらに下層で分解して溶存態 POPs に戻るプロセスをシミュレーションした。シミュレーションの感度実験から底部冷水の崩壊に伴い高濃度の POPs が表層で出現することや POPs の粒子吸着係数の変化により異なる鉛直プロファイルが生じることが分かった。さらに、ある POPs の底部冷水塊における蓄積する度合いをその POPs のヘンリー常数と植物プランクトンへの生物濃縮係数から予測できる関係図をシミュレーションにより算出した。

(3) 黄海における POPs の輸送シミュレーション

上記の底部冷水塊の計算は理想化された海底地形で行ったが、それを現実な海に適用させるために、底部冷水塊が発達する黄海における POPs の輸送シミュレーションを行った。計算は、生化学的特性の異なる 2 つの POPs（ポリ塩化ビフェニルコンジナー-153 (PCB-153) とデカブロモジフェニルエーテル (BDE-209)）をターゲットとしている。溶存態 PCB-153 の濃度は、春から夏にかけて高く、秋に低くなるが、粒子態 PCB-153 の濃度は初春に一番高くなる。BDE-209 においては、溶存態の濃度は夏に高く、冬に低くなるが、粒子態濃度はやはり初春に高くなる。さらに、夏に溶存態 PCB-153 と BDE-209 は、それぞれ海底と海面に蓄積される。このように生化学的特性の異なる POPs は同じ海洋環境においても異なる挙動を示すことが分かった。

(4) 懸濁粒子の濃度変化が POPs の挙動に与える影響

懸濁粒子の濃度は河口域と浅海域では高くなり、海水中の POPs の輸送ルートを大きく影響すると考えられる。その影響を評価するために、まず潮流と波浪による海底応力の変化を考慮した懸濁粒子の計算モジュールを開発し、渤海の懸濁粒子（粘土、シルト、砂）の季節変化と空間分布を再現した。続いて、懸濁粒子のモジュールを海水流動・低次生態系・POPs の結合モデルに導入し、懸濁粒子への POPs の吸着効果を評価した。BDE-209 において、その溶存態濃度は、懸濁粒子濃度の高い冬より夏の方は高くなっていることが示された。

提出された学位論文の研究成果の一部は、国際学術雑誌に 1 編の論文が公表されている。底部冷水塊、黄海と渤海における計算結果は投稿準備中である。

本学位論文の公聴会は令和 5 年 2 月 9 日にオンライン形式で開催し、約 45 分の英語による論文発表と 25 分の質疑応答が行われた。引き続き、学位論文審査委員会を開き、本論文の内容を厳正に審議した結果、審査委員が全員一致で、博士（理学）の学位を授与するのに値するものと判定した。