

水生生物における残留性有機汚染物質濃縮モデルの開発

益永・中井&松田研究室 蓮沼 和夫

1. はじめに

残留性有機汚染物質(POPs)は疎水性が高く難分解性な物質が多いので、環境中に放出されると最終的に底質に長期間蓄積されやすい。また、生物濃縮性を持つ物質が多く、食物連鎖網の高次捕食者体内負荷量が著しく高くなり、予期せぬ環境リスクに晒される可能性がある。化学物質の環境リスク評価を行う上で、生物濃縮を考慮した暴露評価が重要となる。

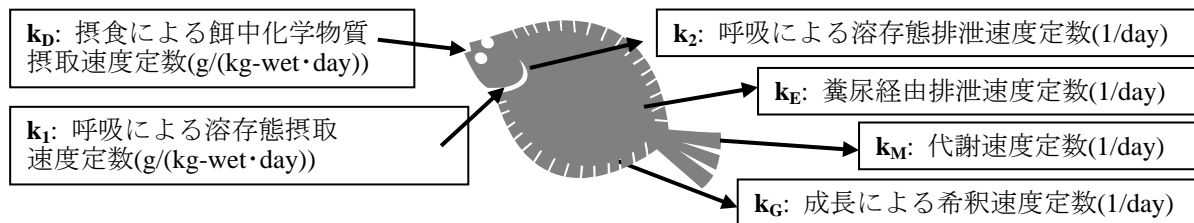
水生生物において生物濃縮が起きる暴露経路は、呼吸による溶存態摂取(Bioconcentration)、食物連鎖を通じた餌中化学物質摂取(Biomagnification)がある。既存の化学物質リスク評価手法は、水生生物を溶存態化学物質に暴露させ、その濃縮性や毒性を調べる水槽実験が多い。つまり Bioconcentration のみに注目され、Biomagnification が考慮されていない。ということは一番体内負荷量が高くリスクが高まるであろう高次捕食者へのリスクが見落とされてしまう可能性がある。よって Bioconcentration と Biomagnification を合わせてリスク評価を行う必要がある。

生物濃縮に関する知見を集める方法としては、限られた生物種を用いたメソコズム試験やフィールド調査等があるが、多大な労力や費用が必要となり、実験回数が制限されてしまう。そのために様々な暴露シナリオに基づいて環境リスク評価を行うことは困難である。そこで本研究では水生生物食物連鎖における生物濃縮の経路と機構をモデル化し、各栄養段階の水生生物 co-PCB 体内負荷量を底質濃度から予測することを試みた。数理モデルを用いることで、簡便に諸条件を変えて繰り返し実験することが可能となる。co-PCB は水生生物に対する内分泌攪乱作用が疑われている点、実測濃度が比較的入手し易い点を考慮して選択した。モデル対象海域は東京湾内湾、対象生物はマコガレイを頂点とした食物網に属する各水生生物とした。

2. 生物濃縮モデル

生物中化学物質マスバランス式 (式①) を用いて生物濃縮モデル¹⁾を構築した。

$$\frac{dC_B}{dt} = k_1 \cdot C_{WD} + k_D \cdot \sum_{i=1}^n (P_i \cdot C_{D_i}) - C_B \cdot (k_2 + k_E + k_M + k_G) \quad \dots \text{式①}$$



C_B は生物中濃度(g/kg-wet)、 C_{D_i} は餌 i 種中濃度(g/kg-prey-wet)を表す。 P_i は生物の餌 i 種への嗜好性を表し、 $\sum P_i=1$ になる。第 1 項は呼吸経由での溶存態 PCB 摂取、第 2 項は腸管経由での餌中 PCB 摂取を表している。第 3 項は第 1・2 項と異なり、生物中濃度を減少させる機構を表している。 k_2 は呼吸する際に、血液中 PCB がエラを介して体外へ排泄される機構を表す。 k_E は消化液や尿を介して PCB が排泄される機構を表す。 k_G は成長による希釈の機構を表す。生物が成長すると体重は増加するが、生物内の PCB 量は一定である。そのため生物中濃度が希釈される。この機構を表すために①式に k_G が組み込まれている。 k_M は肝臓等で PCB が代謝され分解される機構を表す。

定常状態($dC_B/dt=0$)を仮定すると、式①は式②に変換できる。本研究では式②を co-PCB 各 Congener 及び各水生生物ごとに構築し、生物中濃度を予測した。モデルに代入する濃度データ及び各速度定数は分散

$$C_B = \frac{k_1 \cdot C_{WD} + k_D \cdot \sum C_{D_i} \cdot P_i}{k_2 + k_E + k_M + k_G} \quad \dots \text{式②}$$

を考慮する為、Monte Carlo 法で 10,000 回試行を行った。底質濃度は東京都環境局の実測値(平成 13~15 年度)を用いた。溶存態濃度は分配比を用いて底質濃度から求めた底質間隙水濃度を用いた。 P_i は胃内容物調査等の文献値より推定した。モデル化した食物網を図 1 に示す。図中数字は推定した P_i 値を示している。各速度定数は水温や体重、脂質含有率、 K_{OW} 等を説明変数とした種共通の回帰式を使用し求めた。水生生物 PCB 代謝能の知見が不足しているため、全ての水生生物は PCB を代謝しないと仮定し、 $k_M=0$ とした。

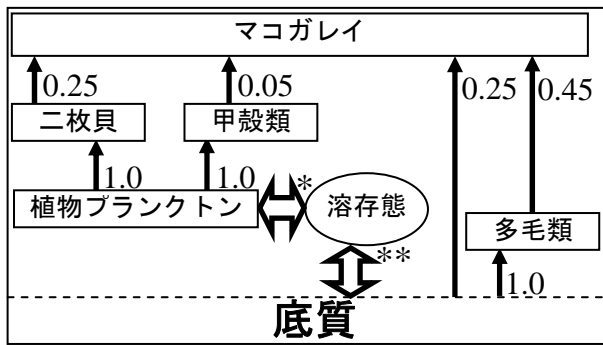


図1 モデルで用いた食物網

図中数字はP_i値を示している。

*) 植物プランクトン中脂質⇔溶存態間でPCBの分配を仮定

**) 底質中有機炭素⇔溶存態(間隙水)間でPCBの分配を仮定

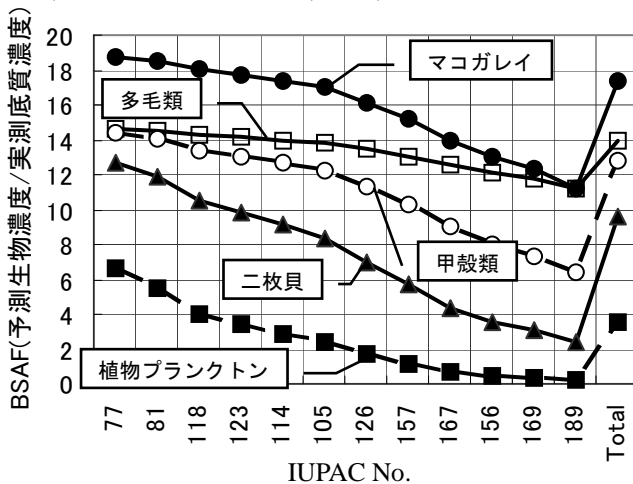


図2 水生生物予測 BSAF

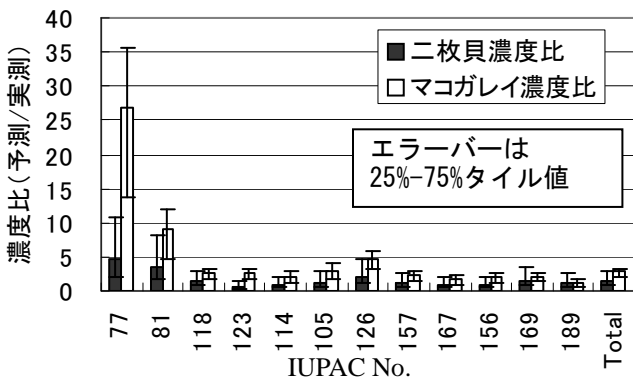


図3 濃度比 (予測濃度/実測濃度)

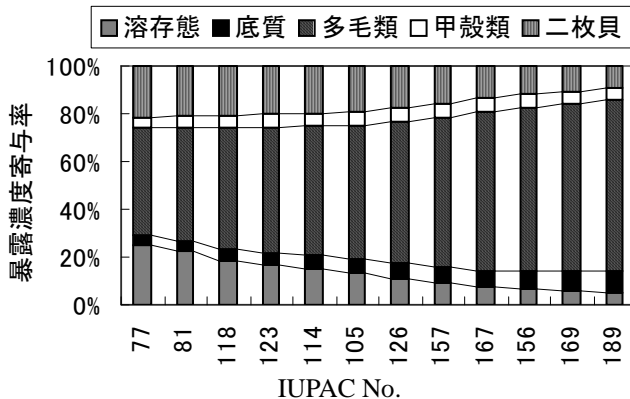


図4 濃度比 (予測濃度/実測濃度)

Low-K_{ow} High-K_{ow}

3. 結果と考察

図2にモデルより得られたBSAF (Biota-Sediment Accumulation Factor) 予測値を示す。BSAFは脂質ベース生物中濃度を有機炭素ベース底質濃度で除した値であり、1を超過すると生物濃縮していることを意味する。マコガレイ BSAF 予測値が一番高い。本研究ではマコガレイを食物連鎖網の最上位に置いたので、このことを反映していると思われる。よってモデル構造の妥当性が示唆された。

図3に予測濃度と実測濃度の濃度比を示す。これはモデルの予測濃度と実測濃度の乖離を評価するためであり、予測濃度を実測濃度で除した(湿重量ベース)値である。実測濃度は、東京都福祉保健局の資料(マコガレイ:平成14年度、二枚貝:平成11~14年度)を使用した。濃度比が1を超過する場合、モデルが過大予測していることを表している。全てのCongenerにおいてモデルは過大予測した。この原因としては、①溶存態濃度を間隙水中濃度とした、②代謝が考慮されていない、等が考えられる。

#77, #81-PCBは他のCongenerに比べ過大予測されている。Gobasら²⁾はK_{ow}が低い化学物質の溶存態濃度を底質中濃度から分配比を用いて求めると、過大予測されると報告している。K_{ow}が低い#77, #81-PCBの溶存態濃度が過大予測された影響を受け、モデル予測濃度も過大予測されたと推定できる。また、#77, #81のみが4塩素PCBであり他のCongenerに比べ低塩素である。低塩素PCBは水生生物に代謝され易い可能性があり、その影響を受けて過大予測が起きたと思われる。

図4はマコガレイの暴露経路寄与率を表したものである。K_{ow}が上昇すると溶存態の寄与率が減少している。これはK_{ow}が上昇すると溶存態濃度が減少するためである。溶存態が占める割合は概ね20%以下である。co-PCBにおいてBioconcentrationよりもBiomagnificationの方が生物濃縮への寄与が大きいと示唆された。

4. 結論

速度定数に種固有の値を使用せずに回帰式から求めた値を用いたが、濃度予測値と実測値は概ね同じオーダーに収まった。スクリーニング的なリスク評価において、種固有の速度定数が不明でも、簡便に体内負荷量を予測できることが示唆された。

マコガレイのco-PCB暴露経路は餌中化学物質が主であり、Biomagnificationも考慮したりリスク評価の必要性が示唆された。

5. 参考文献

1) Gobas FAPC. (1993), *Ecol.Model.* **69**:1-17.

2) Gobas FAPC et al. (2003), *Environ. Sci. Technol.* **37**:735-741.