

海洋生態系における汚染と浄化のモデル化

謝 孟春

海洋汚染は、多くの国や周辺地域に悪影響を及ぼすとともに、汚染からの回復が容易ではない。しかし、巨大な容量をもつ海洋にはかなりの浄化機能が備わっていると考えられる。本研究は、環境変化に伴い海洋・汚染物質の変化や、海洋生物・微生物のエネルギーの変化などを計算する方法を確立し、汚染物質の拡散・微生物の循環と環境汚染・浄化の仕組みを示すモデルを提案する。また、提案するモデルを用いて、海洋生態系のシミュレーションをする。

Modeling of Pollution and Purification for the Marine Ecosystem

Mengchun XIE

The marine pollution causes many countries and nearby regions adverse effect and it is not easy to do the recovery from the pollution. However, it seems to provide considerable clarification function in the ocean with the enormous capacity. This paper establishes the method for calculating the change of ocean and pollutant and change of the energy of marine organism and microorganism, etc. with environmental change. The model which shows diffusion of the pollutant and circulation of the microorganism and the mechanism of environmental pollution and purification is proposed. And, the marine ecosystem is simulated using proposed model.

1. まえがき

海洋汚染は、多くの国や周辺地域に悪影響を及ぼすとともに、汚染からの回復が容易ではない。海洋汚染の進行により、生態系の破壊や漁業資源や観光資源の喪失や有害物質汚染による海洋生物への影響と海洋生物経由の人体への影響などの影響が懸念されている。

一方、地球の表面積の7割を占める巨大な容量をもつ海洋にはかなりの浄化機能が備わっていると考えられる。しかし、近年の経済・産業発展に伴う大量生産・消費の結果、海洋に排出される汚染物質は、量的にも質的にも自然の処理能力をはるかに超えるものとなった。海洋環境の保全是1国だけの問題ではなく、人類共通の地球規模の課題になっている。

本研究は、海洋汚染と浄化の推移を予測する取り組みの一環として、汚染物質が海洋に与える影響や、微生物による環境の回復の仕組みな

和歌山工業高等専門学校

Wakayama National College of Technology

どを探るために、海洋・海洋生物・汚染物質・微生物をモデル化する。環境変化に伴い海洋・汚染物質の変化や、海洋生物・微生物のエネルギー量の変化などを計算する方法を確立し、汚染物質の拡散・微生物の循環と環境汚染・浄化の仕組みを示すモデルを提案する。海洋生態系の環境となる海洋を格子の集合で表し、海洋生物を強弱の関係がある複数種類に分け、汚染状況を汚染物質の拡散で表す。海洋生物系の浄化の仕組みを微生物モデル化で試みる。最後に、提案するモデルを用いて海洋生態系のシミュレーションをする。

2. 海洋・海洋生物のモデル化

2.1 海洋のモデル化

海洋を Fig.1 に示すような立方体の格子の集合で表す。一つの格子は単位領域を表し、以下のようなパラメータが与えられる。

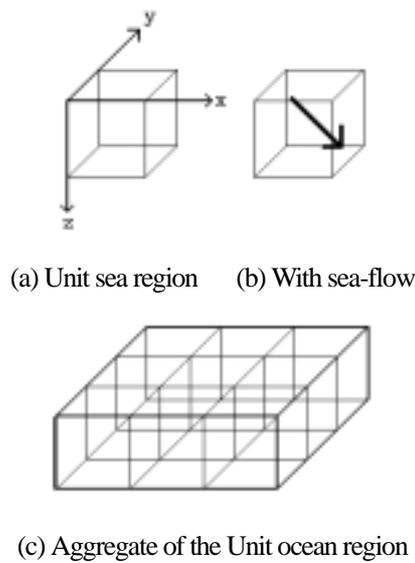


Fig.1 Modeling of the ocean

1 方向の水流

水流はベクトル量である。与えられた単位領域 (Fig.1-(a), (b)) には、一定の方向へある速さで水が流れている。従って、格子の集合 (海洋) には渦のような水流が表現できる。

汚染物質量

汚染物質は単位領域に存在する汚染物質の総量として定義する。汚染物質は単位領域中に一様に拡散する。

微生物量

単位領域内に存在する微生物の総量を示す。このパラメータは汚染物質の分解能力や海洋生物へのエネルギーの提供能力を表す。

2.2 海洋生物のモデル化

海洋生態系には数多くの海洋生物が生存している。ここでは、代表として、強弱関係のある2種類の魚を抽象化し、モデル化する。

ここでは、魚は生命体で、年齢、寿命、体力量、病死率を表すパラメータが持たされる。異なる種類の魚を区別するために、種族番号や階級に付ける。階級は魚の強弱を表し、高い階級にある魚は低い階級にある魚を捕食する。また、魚の位置と移動半径・視界半径を表すパラメータも設定する¹⁾。

魚の行動に必要なエネルギーを体力量 $e(t)$ で表す。体力量の変化は以下のものである。

$$e(t+1) = e(t) - E_{act} \quad (1)$$

ただし、

$$E_{act} = \begin{cases} 1 & (\text{移動時}) \\ \frac{E_{max}}{2} & (\text{生殖時}) \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 E_{max} は魚の最大体力量で、各種族の魚が異なる値をもつ。

魚が視界半径 R_e 内で環境を感知し、以下のように行動する。

- (1) IF 獲物が近くある THEN 捕食する
- (2) IF 天敵が近くある THEN 逃走する
- (3) IF 仲間が近くある THEN 群を作る
- (4) IF 一定年齢を超える THEN 生殖する

3. 海洋汚染のモデル化

海洋汚染の原因物質としては、船舶の貨物として運ばれる原油などの油類や化学薬品などの有害液体物質、船上で発生する廃棄物や汚水などがあります。ここでは、これらの汚染の原因物質を汚染物質として抽象化する。さらに、この汚染物質の拡散や海洋生物に与える影響をモデル化する。

3.1 汚染物質の拡散

汚染物質は単位海域内では一様分布する。時間がたつにつれて汚染物質は式(3)の拡散方程式に従って周囲の海域に拡散する。 μ は濃度で、 v は流速で、 D は拡散係数である。シミュレーションでは、 x 、 y 、 z 軸それぞれを考慮した拡散方程式に基づいて計算を行う。

$$\frac{\partial u}{\partial t} = D \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + v \frac{\partial u}{\partial x} \quad (3)$$

Fig.2 は単位海域に汚染物質が拡散のイメージ図である。図の真中のセルは色が濃く、汚染がひどい海域を表す。各セルの矢印は海流を表し、汚染物質は海流によって移動するとする。すなわち、拡散と海流による移動は同時に起こ

る。

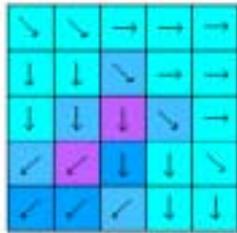


Fig. 2 Diffusion of pollution

3.2 汚染物質の影響

魚は汚染された環境で、捕食や呼吸などにより汚染物質を体内に蓄積してしまう。それで、病気になりやすくなり、正常な生命活動が妨げられ、寿命減少が引き起こされる。汚染物質が魚に与える影響を病死率で表す。

病死率 P_i とは、魚が病気などを発症して死んでしまう確率である。魚が体内に汚染物質を何も蓄積していなければ、健康であるため病死率 $P_i = 0$ である。しかし、汚染物質のある単位領域内にいるときは、この病死率が汚染物質の量によって時間の経過と共に高くなる(式4)。

$$P_i(t+1) = P_i(t) + K_p \cdot c(t) \quad (4)$$

ここでは、 $c(t)$ は魚が存在する単位領域の時刻 t における汚染物質の量で、 K_p は比例定数である。

さらに、汚染物質を取り込んだ魚の子孫にも汚染物質が受け継がれて、この汚染の影響が子孫の魚にも現れる。

4. 海洋浄化のモデル化

生態系には、無機物から有機物を生産する生産者、有機物を消費する消費者、有機物を無機物に分解する分解者の3者が必要となる²⁾。これらがエネルギーの流れを生み出し、生態系サイクルを形作る。本研究は、モデルの簡略化のために、実際の海に存在するプランクトンや細菌類を統合して微生物とし、生産者と分解者の役目を持たせる。すなわち、微生物は汚染物質

を栄養源とし、汚染物質を分解することによって、海洋が浄化される。また、この微生物も一番弱魚(一次消費者)の餌となり、生態系における食物連鎖が形成できる。

4.1 微生物量

単位海域中にどれくらい微生物が存在するかを表すために、微生物のエネルギーを e_{mb} 用いる。微生物の生み出した有機物が豊富に存在する豊かな海域には、この e_{mb} も大きくする。

また、微生物エネルギー e_{mb} はある一定量を規準として増減する(式5)³⁾。

$$\frac{de_{mb}}{dt} = K_v \left(1 - \frac{e_{mb}}{E_{id}}\right) \quad (5)$$

ただし、 K_v は増加速度係数で、 E_{id} は基準微生物量である。

4.2 微生物の役割

微生物は、生産者と分解者として、以下のように役割を果たす。

(1) 死骸の分解

微生物は、魚の死骸を分解して、魚が持っていたエネルギーが自分に還元する(式6)。

$$e_{mb}(t+1) = e_{mb}(t) + \sum e_d(t) \quad (6)$$

ここでは、 $\sum e_d(t)$ は死亡した魚のエネルギーの総和である。

(2) 汚染物質の分解

微生物は、汚染物質を分解して、エネルギーを得る。また、微生物の汚染分解によって、海洋浄化になる。このプロセスを以下のようにモデル化する。

(a)汚染物質の量は微生物のエネルギーに比例して減少する(式7)。

$$c(t+1) = c(t) - K_c e_{mb}(t) \quad (7)$$

ここでは、 K_c は分解量係数である。

(b)汚染が拡散すると共に、汚染物質を分解する微生物量が増える。なぜならば、汚染が拡散すると、汚染物質の濃度が薄くなり、汚染され

た海域が広がるためである。ただし、汚染物質がある一定の閾値以上になるような重度の汚染状況では逆に微生物は減少する(式8)。

$$e_{mb}(t+1) = \begin{cases} e_{mb}(t) + K_g e_{mb}(t) & (c(t) < C_{th}) \\ e_{mb}(t) + K_r e_{mb}(t) & (c(t) \geq C_{th}) \end{cases} \quad (8)$$

ここで、 K_g は微生物の増加係数で、 K_r は減少係数で、 C_{th} は汚染量の閾値である。

(3) 魚の浄化

微生物の浄化作用で、汚染された魚が時間の経過と共に病死率は減少する(式8)

$$P_i(t+1) = P_i(t) - K_{fc} \quad (8)$$

ここで、 K_{fc} は病死率減少量である。

5. シミュレーション実験

提案したモデルを検証するために、シミュレーション実験を行う。まず、微生物エネルギーの変化を Fig.3 に示す。微生物が汚染ない場合には、指数で増加する。一方、汚染ある場合には、低レベル汚染(汚染量が少ない)のとき、微生物量が汚染の拡散と共に増加するが、高レベル汚染(汚染量が多い)とき、微生物量が減少になる。

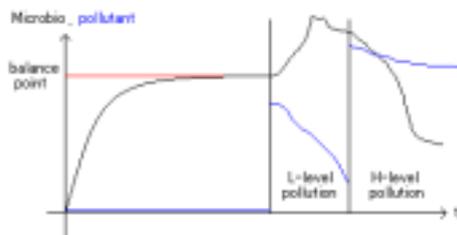


Fig. 3 Change of the energy of microorganism

次に、強魚と弱魚を2種類用意し、汚染なしと汚染ありのそれぞれの環境に対する時間と共に変化の様子を観察する。また、生態系の変化が安定してから汚染を1箇所で開催させ、時間経過とともに拡散させる。この条件で魚の個体数の変化を Fig.4 に示す。

Fig. 4 から見ると、汚染が発生すると両種類

の魚の個体数が減少していることがわかる。これは魚が環境汚染の影響を受け、病死率が高くなって、死亡した魚が多くなると考えられる。しかし、ある時間が経過した後、魚の個体数がまた徐々に回復する。これは、微生物が環境浄化と魚の浄化をもたらした結果と考えられる。

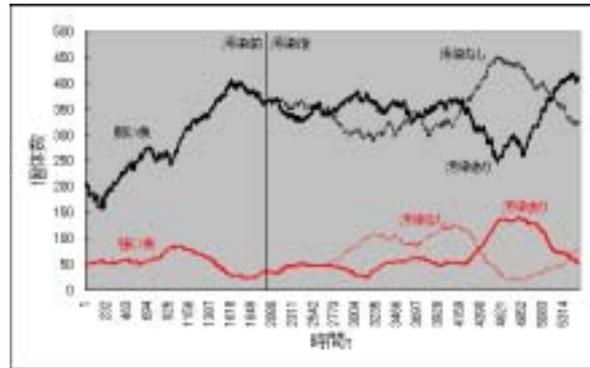


Fig. 4 Change of ecosystem in polluted ocean

6. まとめ

本研究では、海洋生態系における汚染と浄化のモデル化について試みた。抽象化した汚染物質の変化を用いて、汚染状況を表し、海洋生物に与える影響を表現した。また、微生物を海洋浄化と生態系サイクルの形成の役割に果たさせ、汚染の影響をシミュレートすることができた。汚染がない場合、生態系は長期にわたって安定して推移したが、汚染発生後は両種族とも個体数が減少する。また、汚染後の回復では、強魚の方が回復遅いことから、個体数が少ない強魚が汚染の影響に弱いという現実と近い結論が得られた。今後の課題としては、汚染と浄化のモデル化についての評価方法の改善等があげられる。

参考文献

- 1) 謝孟春, 加藤敬一郎: 動的環境における魚の生態系のシミュレーション, 和歌山工業高等専門学校研究紀要 第37号 pp.33-38 (2002)
- 2) 清水 潮: 海の微生物たち, 大月書店(1982)
- 3) 巖佐庸: 数理生態学, 共立出版(1997)