

# 「海洋構造物の付着生物が排出する懸濁態有機物の挙動に関する研究」

環境システムコース 海洋環境工学分野 26635 井梅俊行

## 1 背景

### 1.1 海洋構造物の環境影響

沿岸域は人間活動にとって重要な場所であり、人間が快適に生活しようとする際に沿岸域利用は必要な行為である。沿岸域の開発は埋め立てや港湾の設備、防災のための護岸など人工物を海域に創出することが多い。このような人工構造物が周辺海域の環境を変化させる事が考えられる。例えば埋め立てによる生物生産性の高い干潟、浅海域の消失などである。このような環境変化は漁業被害などをもたらすことがある。防災、海運の利便性と予想される環境変化の双方を考慮して沿岸域の開発を行う事が重要である。

そのような中で海洋に浮体を設置するものが考えられている。浮体は一般的な埋め立て方式によって人工島を造成する場合に比べて消失する海域が少ない。超大型浮体に関する研究により流れなどの物理的な影響は少ない事がわかったが、浮体に付着する生物の影響が重要である事もわかった。また、護岸への付着生物が湾の水質、底質に影響を与えている事も指摘されている。

### 1.2 付着生物

海洋構造物に付着する生物としてムラサキイガイがある。ムラサキイガイは東京湾付着生物の優占種である。

ムラサキイガイは有機物を摂取することで海洋から集め、死亡、脱落や排出物として海洋構造物近傍に濃縮した有機物をばら撒くことになる [1]。ムラサキイガイの排出した有機物は比較的早く沈降する事が分かっている [2]。沈降量が少なければ沈降過程において有機物はバクテリアに分解されるが、排出物が多量であれば分解しきれずに海底に堆積する。海底に沈降した有機堆積物は海底の貧酸素化を引き起こす可能性がある。海底の貧酸素化は硫化物の生成を

促しヘドロなどの悪環境を起こす。

ムラサキイガイ起源の有機物が海域の水質に影響を及ぼす事から、排出される有機物の量や有機物が人工構造物周辺海域のどの範囲まで広がるのかを調べることは海洋環境の保全について重要である。付着生物の生態活動の内、酸素消費や濾過速度に関しては明らかになってきた [3]。しかしながらムラサキイガイ排出物の挙動を研究した例は少ない。いくつかの研究 [4][5] で排出された有機物は海底に直落下するというモデルを用いて議論されているのが現状である。

また、多くのモデルは性質の違う懸濁態有機物を一まとめにして取り扱っている。しかし、ムラサキイガイ排出物の様な特定の起源の懸濁態有機物が卓越しているとその有機物の性質についてよく調査し、その懸濁態有機物を反映したモデルを作る必要がある。

## 2 目的

付着生物の環境への影響を把握するために付着生物が排出する懸濁態有機物の挙動を解明する事を目的とする。東京湾付着生物の優占種であるムラサキイガイに着目し、人工構造物に付着したムラサキイガイを観測し、排出物の特性を調査する。得られた知見から生態系モデルを改良し、懸濁態有機物の挙動をモデルによって表現する。

## 3 研究の方法

### 3.1 ムラサキイガイ排出物の沈降速度

ムラサキイガイの排出物の挙動は沈降速度が支配的な要因となる。そこでムラサキイガイ排出物の沈降速度を求める。沈降現象は粒子の大きさ、密度、形状など物理的な特性と、その場の流れの状態(乱れの度合い)などが複雑に関係してくる。

粒子の大きさが沈降速度に影響を与える事から、ムラサキガイ排出物の粒子の大きさを観測し、物理的特性の一つとして粒径分布を求める。また、ムラサキガイを密閉した海水で活動させ、活動前後の懸濁物を観測し、ムラサキガイの活動によって海域の懸濁態有機物の粒径分布がどのように変化するかを調べた。

乱れによる影響がない静水中の沈降速度を求め、ムラサキガイ排出物の沈降速度について定量的な値を求める。物理的特性のうち密度、形状をムラサキガイ排出物に対して定量的に評価する事は難しく、静水中の沈降速度を理論的に算出するのは難しい。そこで実験的に静水中の沈降速度を求める必要がある。

実海域で起こっている懸濁物の沈降現象は流れの中での沈降になる。沈降速度は鉛直方向の流れの影響を受ける。そこで、鉛直振動流中での沈降実験を行い、鉛直振動流の強さと沈降速度の関係について検討する。実験では本研究で得た静水中での沈降速度と粒径が近似できる人工粒子をムラサキガイ排出物に見立てて行う。

### 3.2 生態系モデルの改良

沈降速度に関する知見をモデルに組み込むことによってムラサキガイの排出物の挙動を精度良く表現する。ムラサキガイ排出物は懸濁態有機物となるが、性質の異なる懸濁態有機物をモデル内で表現するために懸濁態有機物を種類分けする。本研究では東京湾の懸濁態有機物を調査し、懸濁態有機物の種類分けについて検討し、東京湾に用いるモデルを考える。実験で得られた鉛直振動流中での沈降速度から実海域でのムラサキガイ排出物の沈降速度を推定し、モデル内のムラサキガイ排出物はこの沈降速度を用いる。

## 4 ムラサキガイ排出物粒径

ムラサキガイ排出物の粒径分布を求めた。ムラサキガイが排出する糞、擬糞を現場から採取し、直接顕微鏡で観測し粒径を調べた。

結果を図1に示す。20 μm から 50 μm の粒径が幅広く存在していた。粒径を体積平均すると 39.8 μm であった。また、通常の海水での懸濁物の粒径分布も観測しており、こちらはムラサキガイ排出物よりも小さい粒径 10 μm 程度が個数として突出していた。このことからムラサキガイは 10 μm 程度の小さい粒径の懸濁物を濾過摂取し、20 μm ~ 50 μm の懸濁物を排出し、海域の懸濁物を大きくする作用を持つことがわかった。

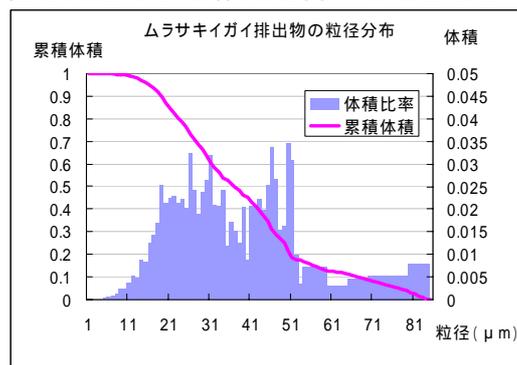


図1：ムラサキガイ排出物の粒径分布

## 5 静水中での沈降速度計測

静水な塩水中での沈降速度を求めた。採取した排出物を沈降筒の中に入れ、時間と共に変化する濃度から沈降速度を算出した。

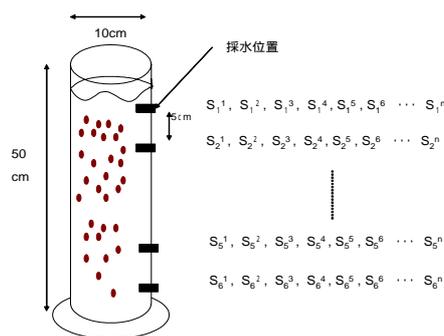


図2：静水中の沈降速度計測実験装置

沈降筒は図2の通りで、採水間隔は鉛直方向に 5cm 間隔、時間間隔は 5 分ごとにした。採水した懸濁物を顕微鏡により観測し、濃度を求めた。鉛直方向の移流、拡散方程式

$$\frac{\partial S}{\partial t} = K \frac{\partial^2 S}{\partial z^2} + w \frac{\partial S}{\partial z} \quad (1)$$

に計測した濃度  $S$  の時間、鉛直変化を用いて拡散係数  $K$ 、沈降速度  $w$  を求める。実験から沈降速度は  $8.8 \times 10^{-5} m/s \sim 10.7 \times 10^{-5} m/s$  と算出した。文献による他の懸濁物の沈降速度を表1にまとめる。珪藻などの植物プランクトンに比べるとムラサキイガイ排出物は非常に大きい。これはムラサキイガイが植物プランクトンを摂取して排出することで海域の有機物を沈降させやすくすることになる。他の懸濁態有機物と比べても大きい値を示した。

表1：静水中の沈降速度例

対象	研究者	$10^{-5} m/s$
珪藻		
Nitzschia seeriata	Smayda	0.30 ~ 0.58
Skeltonema costatum	Smayda	0.36 ~ 1.56
Thalassiosira nana	Smayda	0.12 ~ 0.32
懸濁物 大きさ		
1-10 $\mu m$	Burns ら	0.28
10-64 $\mu m$	Burns ら	1.78
64- $\mu m$	Burns ら	2.69

## 6 鉛直振動流中の沈降速度計測実験

図3のように水槽内に沈降筒、造波器を設置し、造波器によって鉛直振動をさせながら沈降筒内に人工粒子を投入し、前節と同じくその濃度変化から沈降速度と鉛直拡散係数を求めた。人工粒子は観測によって得られたムラサキイガイ排出物と粒径、静水中の沈降速度が近いものを選び、用いた。鉛直振動をA、B、Cの3パターンに分けて起こした。鉛直振動の強さはA、B、Cの順に大きくなっている。

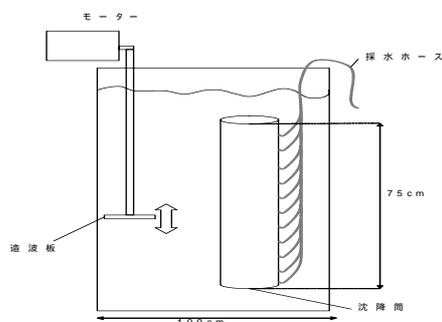


図3：鉛直振動流中の沈降速度計測実験装置

表2：鉛直振動流中での沈降速度と拡散係数

42 $\mu$ 粒子	沈降速度 (m/s)	拡散係数 ( $m^2/s$ )
静水時	$1.1 \times 10^{-4}$	$-2.0 \times 10^{-6}$
鉛直振動流 B	$6.9 \times 10^{-5}$	$5.7 \times 10^{-5}$
鉛直振動流 A	$8.3 \times 10^{-5}$	$2.2 \times 10^{-5}$
55 $\mu$ 粒子	沈降速度 (m/s)	拡散係数 ( $m^2/s$ )
静水時	$1.2 \times 10^{-4}$	$1.4 \times 10^{-6}$
鉛直振動流 B	$8.4 \times 10^{-5}$	$6.2 \times 10^{-5}$
鉛直振動流 C	$5.0 \times 10^{-5}$	$1.1 \times 10^{-4}$

これらの結果を表2と図4に示す。結果から鉛直振動が沈降速度を小さくする傾向がわかった。これは粒子の沈降速度に影響を与える抗力が流れと粒子の相対速度に依存し、振動流の上向きの流れの時と下向きの流れの時が変わる事が大きな要因と推定される。実海域の鉛直拡散係数は  $10^{-4} \sim 10^{-3} m^2/s$  の値が観測される。今回の実験は計測数が少ないが、およそ  $5 \times 10^{-5} m^2/s$  程度かそれ以下が実海域での沈降速度であると推定できる。

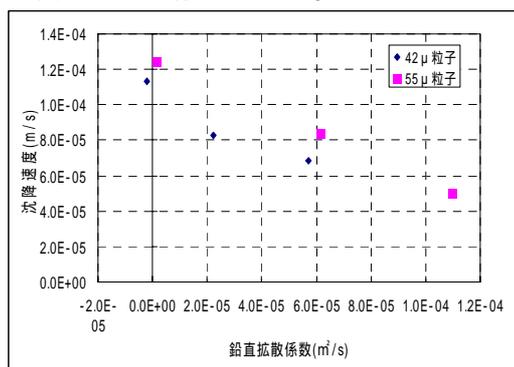


図4：鉛直振動流中の沈降速度実験結果

## 7 海域モデルへの適用

本研究では北澤が超大型浮体式構造物の海洋生態系への影響を数値シミュレーションする時に用いられたものをベースに使った。ムラサキイガイ排出物の挙動をより詳細に表すためにムラサキイガイ排出物を懸濁態有機物としてモデル内で取り扱う。性質の違う懸濁態有機物をモデルで表現するには、図5のようにいくつもの懸濁態有機物を種類によって用意することで可能である。

ムラサキガイの排出物の大きさが  $40 \mu m$  を中心とし、 $20 \mu m \sim 60 \mu m$  に集約されること、東京湾での懸濁態有機物の多くが植物プランクトンの死骸であり、これらは  $20 \mu m$  以下のものがほとんどである事。また、本研究で観測したムラサキガイ活動前後の懸濁物の粒径の変化からムラサキガイは  $20 \mu m$  以下の粒子を主に摂取していることが分かっている。ムラサキガイは懸濁物の内、粒径の小さいものを選択的に摂取するという知見 [6] もある。以上から簡単のため 2 種類の懸濁態有機物を扱い、 $20 \mu m$  未満と  $20 \mu m$  以上で区別し、ムラサキガイは小さい懸濁態有機物を摂取し、大きい懸濁態有機物を排出するモデルを構築した。

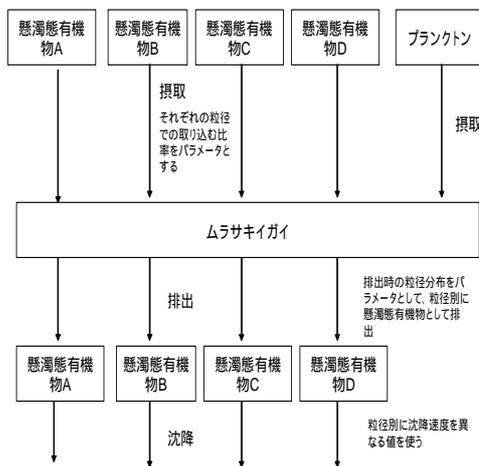


図 5：懸濁態有機物の多様化モデル

## 8 まとめと今後の課題

本研究で得られた知見は以下の通りである。

- ムラサキガイ排出物の粒径が  $20 \sim 60 \mu m$  を中心に分布していること、ムラサキガイ活動前後で懸濁物の大きさの変化があったことが観測により分かった。
- ムラサキガイ排出物の沈降速度が静水中で  $8.8 \sim 10.7 \times 10^{-5} m/s$  と求めた。
- 鉛直振動流中での沈降速度を実験的に求め、鉛直振動が強いほど、沈降速度が減

少する傾向が確認できた。実海域と同程度の拡散係数の場合の沈降速度を実験から  $5 \times 10^{-5} m/s$  程度と推定した。

- 東京湾での懸濁態有機物を起源により分ける事で付着生物の影響を精度良く評価できるモデルを構築した。

また、課題としては以下の様な事挙げられる。

- 本研究でのムラサキガイ観測によって付着生物の層状の付着が顕著に見られた。このような層状の効果は付着生物の活動に影響を与える事が予想され、まだモデルには組み込まれていない。層状に付着する効果を検討し、付着生物生態系モデルのさらなる精度向上を行う事が必要である。
- 本研究では実験回数が少なく、傾向的な沈降速度と鉛直振動流の関係しか得られなかったが、実験の追加とその関係の検討を行い、鉛直振動流の強さによって変化する沈降速度をモデルに適用する事がモデルの精度向上に必要である。

## 参考文献

- [1] 矢持進, 山啓之, 日下部敬之, 佐野雅基, 鍋島靖信, 睦谷一馬, 唐沢恒夫: 人工護岸構造物の優占生物が大阪湾沿岸域の富栄養化に及ぼす影響, 海の研究, vol4, 1995
- [2] 山室真澄: 懸濁物食性二枚貝と植物プランクトンを通じた窒素循環に関する従来の研究の問題点, 日本ベントス学会誌, 42, 1992
- [3] 佐々木啓: 付着生物の生態活動に関する現地計測と数値モデルの改良, 東京大学大学院新領域創成科学研究科環境学専攻修士論文, 2003
- [4] 北澤大輔: 数値シミュレーションによる超大型浮体式構造物の海洋生態系への影響に関する研究, 東京大学大学院工学系研究科船舶海洋工学専攻, 学位論文, 2002
- [5] 山口創一: 付着生物とその脱落を考慮したメガフロートまわりの水質評価モデル, 第 16 回海洋工学シンポジウム, 2001
- [6] J.Widdow, P.Fieth, C.M.Worrall: Relationships between seston, Available Food and Feeding Activity in the Common Mussel *Mytilus edulis*, Marine Biology, 50, 1979