

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

環境システムコース・海洋環境工学分野

16645 佐々木啓

1. 緒言

国土の狭い我が国では、海上の有効利用が必要とされているが埋め立て工法では、そこに存在する生態系の破壊など環境への影響が懸念されている。超大型浮体構造物（メガフロート）による海上利用が有効な手段として注目を浴びている。メガフロートは海底並びに水柱部がそのまま残り、埋め立てによる海域の消滅を回避することができる。しかし、浮体の下部や側面に多量の貝などが付着し新たな物質循環が生じるため、周辺海洋環境へ影響を及ぼすと言われている^[1]。

ムラサキイガイは我が国の内湾の人工構造物に付着する最優占種の一種である。最優先種がその海域の物質循環に大きく関与することは容易に推察され、これらの生態活動を解明することは重要である。ムラサキイガイは体内に懸濁態有機物などを取り込むことができるため、環境浄化生物としても研究が進められている^[2]。しかし、実海域計測に基づいた付着生物のモデル化ほとんど行なわれていない。そのため、何層にも重なって付着していたり、様々な環境因子によって複合的な影響を受けるムラサキイガイの摂餌・呼吸・排泄などの活動を数値モデルによって再現するためには、更に十分な検討が必要である。

2. 本研究の目的

本研究の目的を以下に示す。

(1) 実海域計測によるムラサキイガイの摂餌・呼吸・排泄活動による溶存酸素（以下 DO と呼ぶ）消費、クロロフィル a（以下 chl-a と呼ぶ）消費の把握

(2) 沿岸・河口域での付着生物による海洋環境に与える影響評価

(1) については、密閉容器（以下ベルジャーと呼ぶ）を用いて容器内の DO、chl-a の消費速度の計測を行う。その結果をもとに、(2) では付着生物モデルの精度を向上させることに重点をおき、付着生物による海洋環境への影響について考察を行う。

3. ベルジャー実験

3.1 現地計測

付着生物の生態と周辺の環境条件（chl-a、DO、水温、塩分）の関係性を調べる目的で、隅田川河口付近の東京商船大学汐路丸が係留してある浮き桟橋上（図1）にて連続計測、ベルジャー実験を行った。生物の付着過程および付着量を測定するために12枚の浸漬基盤（図2）を設置し、その推移を調査した。基盤一枚あたりのムラサキイガイの平均湿重量、平均殻長の測定は浸漬基盤を実験室に持ち帰り行った。

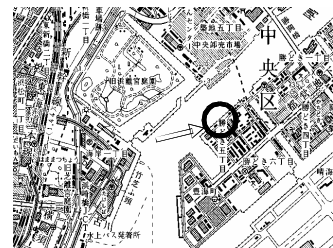


図1 計測場所

3.2 ベルジャー実験

付着生物による植物プランクトン（以下 phy と呼ぶ）等の摂餌活動、呼吸活動による DO、chl-a 消費を調べるために、ベルジャーを用いて DO、chl-a の消費速度を計測した。実験に用いたムラサキイガイは浸漬基盤に付着しているものを用いて計測した。計測は45分間行い、複数回行う場合はベルジャー内の水を一度完全に交換した後、再度計測を行った。



図2 浸漬基盤

3. 3 計測および実験結果

連続計測から、隅田川河口付近の環境特性は、常に高栄養塩状態であり水温の高い夏季には、密度成層が発達し表層では低塩分状態（10～15psu）であり、phy が豊富に存在していた。冬季になり水温の低下と共に phy は減少し、それに伴い DO が増加する傾向が計測された。表 1 には基盤一枚あたりの生物湿重量及び 1 個体の平均湿重量、平均殻長を示す。付着生物の総湿重量、個体数は 9 月から 11 月にかけては増加傾向にありその後は減少している。個々のムラサキガイに関しては平均湿重量・殻長とも成長している様子が計測された。

ベルジャー実験の結果から実験日によって DO、chl-a 消費速度に大きな違いが生じることがわかった。この原因は、水温、塩分の変動が最も関係しているのではないかと考えられる。また、実験開始後 5 分間はベルジャー内の DO、chl-a 量はムラサキガイが摂餌・呼吸・排泄を行うのに十分な量が存在していたが、それ以降は DO、chl-a 量の減少によりそれらの活動が制限を受けて低下する様子が計測された（図 3）。

4. 付着生物モデルの改良

4. 1 付着生物モデル

付着生物モデルは、護岸や海洋構造物に付着している付着生物の機能および、物質循環を扱うモデルである。支配方程式は付着生物の生物量を ADH (mgC/m^2) とするとその時間変化を示す関係式は①のようにあらわされる。

$$\frac{\partial ADH}{\partial t} = B_{101} - B_{102a} - B_{102r} - B_{103a} - B_{103r} \quad \text{①}$$

付着生物は懸濁物食性であると仮定するため、chl-a・動物プランクトン・懸濁態有機物を摂取 (B_{101}) することによって生物量が増加し、摂餌に伴う呼吸・排泄 (B_{102a})、基礎代謝活動 (B_{102r})、擬糞 (B_{103a}) および排糞・死亡 (B_{103r}) によって生物量は減少する。

4. 2 モデルの改良

実験日によって DO、chl-a 消費速度に大きな違いが生じたが、従来の付着生物モデルではこの変動を表現することができなかった。その原因として、水温、塩分の変動が最も関係しているのではないかと考えられ、モデルでその影響を考慮することとした。従来のモデルでは水温、塩分に対するムラサキガイの活動は一定とし、海水中 (30psu)、水温約 15°Cで行われた殻長

表 1 基盤一枚あたりの生物量

実験日	付着生物 総湿重量 (g)	平均 殻長 (mm)	平均 湿重量 (mg)	総個 体数
9/10	355.4	5.03	32.1	5516
10/4	572.5	5.52	34.6	12765
10/11	441.7	8.27	72.7	4587
10/28	464.6	6.92	50.7	7525
11/11	484.6	7.45	47.4	9221
12/2	474.3	9.3	78.6	5391
12/2②	760.8	11.1	331	—
12/20	380	9.45	96.7	3335

※12/2の2回目の実験は周辺に付着しているムラサキガイを剥がしとり実験を行った。

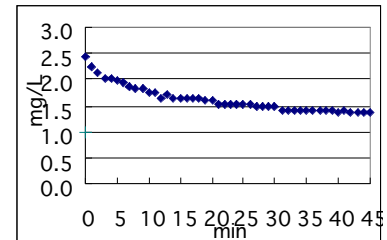


図 3 DO 消費速度
(実験日：10月28日)

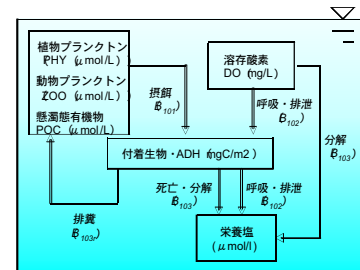


図 4 付着生物モデルの概要

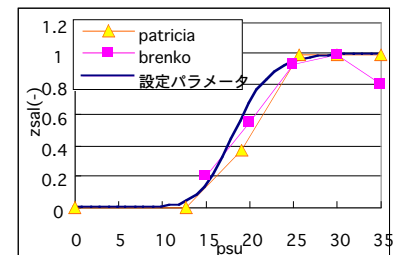


図 5 摂餌・呼吸・排泄活動
への塩分影響

と濾過量関係式から海水濾過速度を求めている。しかし水温、塩分がムラサキガイの成長へ影響を及ぼすという研究報告がいくつか存在する。Brenko^[3]は幼生ムラサキガイを用いて様々な水温での殻長の成長量について報告している。それによると、約 2 週間異なる水温で飼育したムラサキガイの殻長の伸びを比較することで水温による成長への影響を調べている。また、Patricia^[4]は、約 1.5cm の沿岸域のムラサキガイを用いて様々な塩分での成長に及ぼす影響について調べており、水温一定のもと、異なる塩分で飼育したムラサキガイの殻長の成長量を比較し、違いが生じることを報告している。それらをもとに水温、塩分影響を考慮する付着生物モデルを提案する。水温影響パラメータ (ztmp)、塩分影響パラメータ (zsal) を図 5, 6 に示す。改良前のモデルでは 30psu、15°Cでの海水濾過速度を用いていたためその値を基準としてムラサキガイの摂餌・呼吸・排泄活動に各パラメータを③、④式のように加えた。

$$B_{101} = B_{101} \times ztmp \times zsal \quad ②$$

$$B_{102r} = B_{102r} \times ztmp \times zsal \quad ③$$

ムラサキガイの死亡・排糞に関しては、成長が促進されるような最適環境において、摂餌等と同様に増加するという現象は考えにくい。そこで、Brenko^[3]による様々な水温、塩分でのムラサキガイの死亡率を求めている研究を参考にする。それによると、塩分・水温が異なる環境で 2 週間飼育した後の生存率を調べている。その研究報告の生存率から死亡率を求め、水温・塩分影響パラメータ (yztmp、yzsal) を決定した (図 7, 8)。それらパラメータをムラサキガイの死亡・排糞活動に④式のように加えた

$$B_{103r} = B_{103r} \times yztmp \times yzsal \quad ④$$

4. 3 計測結果との比較

モデルの改良前、改良後と計測値を比較した (図 9, 10)。10 月 4 日は低塩分状態、12 月 20 日 2 回目は、低水温状態で計測され、改良モデルではその影響を反映させることができたと考えられる。図 11~14 に実験開始後 5 分間での計測および計算による DO 消費速度、chl-a 消費速度を比較した。平均自乗誤差 (RMS) を比較したところ、モデルを改良することによって計測値との誤差が軽減され、ムラサキガイの生態活動をより正確に捉えることができた。しかし、水温、塩分を考慮した改良モデルにおいても、まだ実際のムラサキガイの活動を捉えきれていない部分が存在する。その一つとしてムラサキガイが成長するに従い、何層にも重なり密集する影響が考えられる。密集しているほど摂餌活動への障害や種内競争がおり、ムラサキガイの成長は遅れると言われている。単位

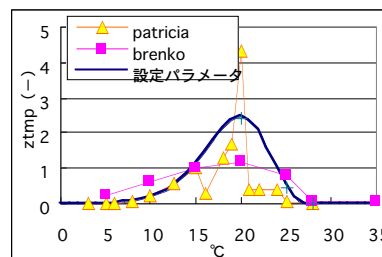


図 6 摂餌・呼吸・排泄活動

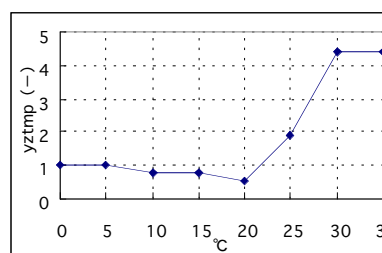


図 7 死亡・排糞活動への水温影響

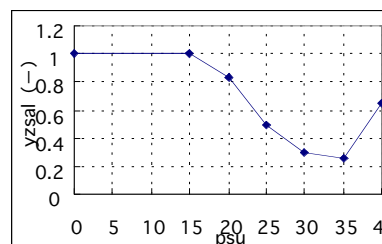
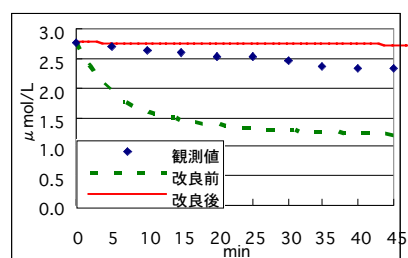


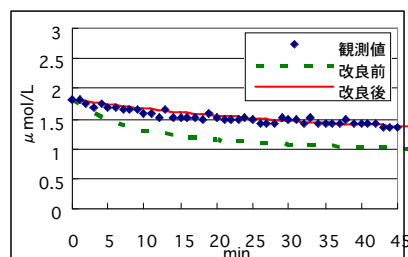
図 8 死亡・排糞活動への塩分影響



10 月 4 日

(塩分 : 10.3psu、水温 : 22.4°C)

図 9 計測,計算による chl-a 消費速度



12 月 20 日 2 回目

(塩分 : 28psu、水温 : 12.5°C)

図 10 計測,計算による chl-a 消費速度

面積当りの生物湿重量と DO 消費速度、chl-a 消費速度を比較したところ、密度が小さい時ほどいずれの消費速度も増加していることがわかった。モデルにおいて、個体群としての生態活動を考慮した研究例はほとんどなく、この影響を考慮することで、より精度高く実海域の生態活動を再現できるということが示唆された。

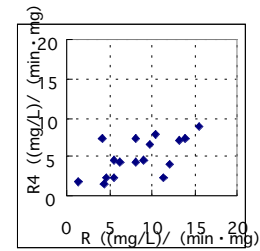
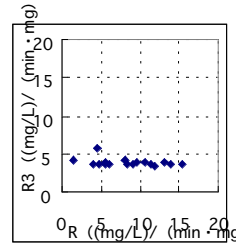
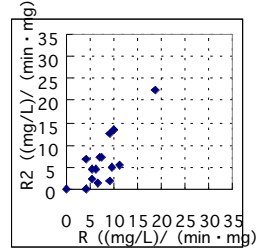
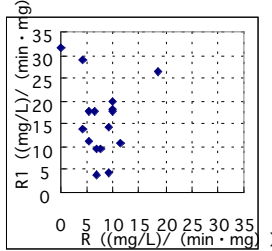


図 11 改良前(R1)のモデルと計測値の chl-a 消費速度比較 (RMS : 1.39)
図 12 改良後(R2)のモデルと計測値の chl-a 消費速度比較 (RMS : 0.43)

図 13 改良前(R3)のモデルと計測値の DO 消費速度比較
図 14 改良後(R4)のモデルと計測値の DO 消費速度比較 (RMS : 0.49)

5. 羽田沖における超大型浮体構造物による海洋環境影響

多摩川河口付近の羽田沖に、長さ 3km・幅 1km・喫水 3m の仮想の超大型浮体構造物を設置し、それによる環境影響予測を行なった。付着生態系を考慮した沿岸域の低次生態系モデル^[1]に、今回改良した付着生物モデルを組み込みシミュレーションを行い、従来のシミュレーション結果との比較を行った。定常状態になったときの DO の海表面での 8 月の平均値を図 15 に示す。付着生物への水温・塩分影響を考慮することにより、周辺海洋環境への影響に違いが生じてくる可能性があることがわかった。

6. 結論

現地計測から、ムラサキイガイの摂餌・呼吸・排泄活動による DO、chl-a の消費には、水温、塩分が関係していることが明らかとなった。また、密集して存在するムラサキイガイの活動は、個体群として単独で存在する時とは異なる働きを持つことが示唆された。今後は密集して存在するムラサキイガイについて、密集している上層と下層での摂餌・呼吸活動の違いや、種内競争等による障害が、密集群としての活動にどのように影響するかについて更に検討する必要がある。

羽田沖においての、仮想シミュレーションにより付着生物系モデルのパラメータによって環境予測が異なる可能性があることがわかり、実海域での付着生物の活動には十分な検討が必要である。実海域計測をもとにした付着生物モデルを再構築することは、河口付近や沿岸域での浮体構造物を設置する際の有効な環境影響予測モデルになると考えられる。

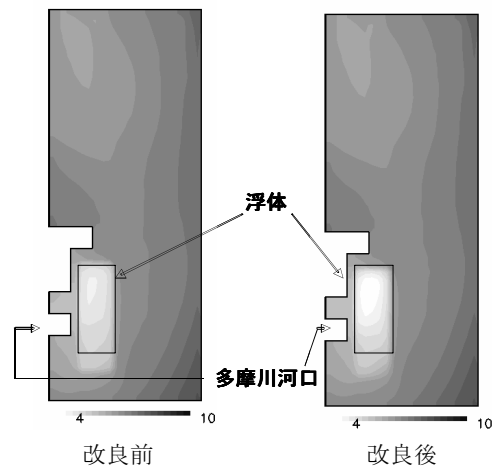


図 15 東京湾羽田沖超大型浮体を設置した時の DO 変化 (単位 : mg/L)

[1]北澤大輔、藤野正隆、多部田茂(2000) : 超大型浮体が東京湾の浮遊生態系に及ぼす影響に関する研究、日本造船学会論文集、第 188 号、pp.59-72

[2]門谷(2002)、ムラサキイガイ養殖による洞海湾浄化の試み、海の研究、11(3)、pp.403-417

[3]M.Hrs.Brenko(1969)、The combined effect of salinity and temperature on larvae of the mussel *Mytilus*

edulis, Marine Biology, 4, pp.224-226

[4] Patricia(1984), The effects of reduced salinity on the shellgrowth of small *Mytilus Edulis*, J.mar.biol.Ass, 64, pp.171-182