

# アラメ生長モデルの構築と藻場が水質に与える影響に関する研究

環境システムコース 海洋環境工学分野

16657 山口 剛

## 1. 背景

四方を海に囲まれたわが国は約 35000km にも及ぶ海岸線を持ち、背後に人口、資産、社会資本などが集積している。東京湾や伊勢湾、大阪湾のような特に大きな工業地帯をかかえる半閉鎖性内湾浅海地域では、1960 年代に入り海岸線の埋め立てによる地形改変や富栄養化物質流入に伴う水質汚濁が原因となって、沿岸環境の崩壊が深刻な問題となっている。

そこで、沿岸環境を回復するための創造技術として藻場造成がある。幼胚集積法、母藻投入法、移植ブロック投入法などいくつかの成功を収めた例があり、さらに室内実験を中心とした海藻個体群の形成過程に関する研究が盛んに行われるなど、近年藻場造成技術は体系化される方向に進展しつつある。

しかし、海洋構造物の建設や海岸線の埋め立てにおいて、藻場造成の効果や構造物による藻場への影響を定量的に評価する手法は確立されていない。特に、生物の季節変動に対応した長期間にわたり数値モデルの構築は、藻場の生産性把握に不可欠であるが、このような研究は極めて少ない。

## 2. 研究目的

このような背景を踏まえ、藻場造成がこの先開発の代償として社会に受け入れられるためには、海藻のもつ固有の生活史が沿岸生態系にどのような影響を与えているのか定量的に評価できるモデルを構築することが必要である。

本研究ではまず、現地観測により主要な藻場構成種であるコンブ科アラメの生育をその場の外部環境の変化と共に把握する。

次に、計測結果に見られるようなアラメの変動を数値モデルで定量的に表現するため、既存の藻場群落モデルにアラメ固有の生活史を取り入れる。これにより、アラメを対象を絞ったモデルを提案する。また、このモデルを使って計算を行い、実海域での計測値と比較することでモデルの有効性についての検証を行う。

最後に小規模湾である久里浜湾を対象として、既存の生態系モデルにアラメ生長モデルを組み込んで数値シミュレーションを行う。この結果より、久里浜湾においてアラメが栄養塩や溶存酸素の物質循環にどのような影響を及ぼすのか考察を行う。

## 3. 研究方法

### 3-1. 現地計測

神奈川県横須賀市の国土交通省国土技術政策総合研究所内にある岸壁直下を調査場所とし、光量子量 水温 溶存酸素 クロロフィル a の連続計測を行った。また定期的に採水を行い、オートアナライザーを用いて 栄養塩濃度 ( $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{PO}_4^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NO}_2^-$ 、 $\text{SiO}_2$ ) を測定した。計測期間は、2002 年 4 月 11 日より 2003 年 1 月 16 日である。

さらに、現場付近に繁茂しているアラメを採取し、湿重量、葉数、茎径の変化量を定期的に計測した。

### 3-2. アラメ生長モデルの構築

成熟期にあるアラメの季節変動を再現するため、既存の藻場群落モデル<sup>[1]</sup>に次の 3 点を追加する。

#### 3-2-1. 葉部（光合成器官）と茎・根部（非光合成器官）に分割する

成熟期を迎えたアラメに関して、大きな重量変動を伴う光合成や生殖活動は葉部でのみ行い、茎・根部は季節変動することなくほぼ一定である。ところが既存のモデルでは、群落全体を1つの状態変数として与えているために、この状況を数式で表現することができない。そこで葉部と茎・根部を分割して考え、それぞれについてモデル化を行う。

### 3-2-2. 秋～冬に起こる「葉部先枯れ現象」を考慮する

葉部では、生殖活動とほぼ同じ時期に基部を残して枯死、流失が始まるとされている。よって、先枯れ現象は葉重量の最大に達した後が始まると言い換えられる。また先枯れ現象に伴って、葉重量の80%が流失するという知見がある。そこで本モデルでは、既存のモデルで考慮している枯死を日々の新陳代謝に伴うものと考え、新しく「葉部の先枯れ現象」を考慮し、7月1日から翌年の4月まで以下の(\*)に示す式にのっとり、7月1日午前0時の葉重量の80%を流失させる。

### 3-2-3. 枯死の項に掛ける重量を二乗にする

植物プランクトンの枯死の定式化で使用している方法を採用し<sup>[2]</sup>、アラメの湿重量が入力する環境に応じて際限なく生長あるいは枯死することがないようにする。これは、成熟期を迎えたアラメの湿重量平均が1.5kgであり、一年後の重量の増大がほとんどないという一般の知見に基づいている。本モデルでは、収束点を1.5kgとなるように枯死パラメータを設定し、葉部がゼロになるとアラメは枯れるとした。

$$P = P_1 + P_2 \quad (1)$$

$$dP_1/dt = B_{101} - B_{102} - B_{103} - B_{104} - B_{105} - B_{106} \quad (2)$$

$$dP_2/dt = 0 \quad (3)$$

$$B_{101}(\text{光合成生長}) = n_{101}(T) \cdot \mu_a(PO_4, NH_4) \cdot \mu_b(I) \cdot P_1$$

$$B_{102}(\text{細胞外分泌}) = V \cdot B_{101}$$

$$B_{103}(\text{葉部呼吸}) = R \cdot \exp(K_R \cdot T) \cdot P_1$$

$$B_{104}(\text{葉部枯死}) = M \cdot \exp(K_M \cdot T) \cdot P_1^2$$

$$B_{105}(\text{茎・根部への栄養受け渡し}) = R \cdot \exp(K_R \cdot T) \cdot P_2 + M \cdot \exp(K_M \cdot T) \cdot P_2^2$$

$$B_{106}(\text{葉部先枯れ現象}) = P_3 \times 0.8 \times MM \times \frac{(DATE)^2}{\exp(DATE)} \quad (*)$$

ここで、アラメの全湿重量  $P$ [kg]、葉部  $P_1$ [kg]、茎・根部  $P_2$ [kg]、 $v_{101}$ ：最大光合成速度[day<sup>-1</sup>]、 $\mu_a$ ：栄養素制限、 $\mu_b$ ：光制限、 $T$ ：水温[ ]、 $I$ ：光照度[lx]、 $PO_4$ ：リン酸態リン濃度[ $\mu\text{mol/l}$ ]、 $NH_4$ ：アンモニア態窒素濃度[ $\mu\text{mol/l}$ ]とする。 $P_3$ は7月1日0:00時点での葉部重量[kg]、 $V, R, M, K_R, K_M, MM$ は定数である。

### 3-3. 久里浜湾の水質予測モデル

水質予測モデルには、気象や海域状況など時々刻々変化する条件をもとに、海水の流れや水温、塩分を計算する物理モデルと、同様にして栄養塩や溶存酸素などの物質循環を記述する化学・生物モデル<sup>[2]</sup>にアラメ生長モデルを組み込んだ生態系モデルを使用する。

Fig.1には、新しく追加したアラメを中心とする炭素、酸素、栄養塩の流れについて図示する。

今回、アラメの繁茂する海域の底質が主に岩盤であることより、底質が泥などの場合に考慮しなければならない底生系動物による食物連鎖は考えなくて良いとした。ただし、沈降する懸濁態有機物及び植物プランクトンについては、物質収支をとるために、海底

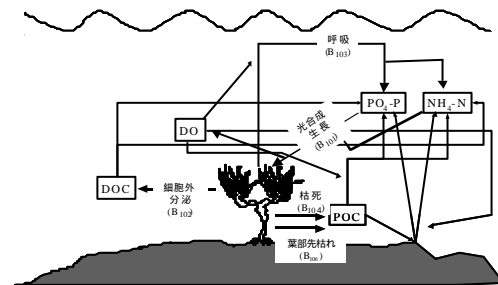


Fig.1 アラメに関する物質循環

へ到達すると瞬時に分解反応が起こり、溶存酸素の消費と海水中への栄養塩放出が行われるものとする。

#### 4. 結果及び考察

##### 4-1. 久里浜湾における現地計測

2002年4月11日より2003年1月16日の期間で計25回アラムの湿重量、茎径、葉の枚数を計測した。Fig.2では、夏から秋にかけて計測を行ったアラムについて示す。湿重量、葉の数共に8月に入り減少しているのに対して、茎径の長さはほとんど変化していない。つまり全湿重量の減少は、葉部の変化に大きく依存していることが分かる。年間を通して連続した計測が出来ていないのは、一部のアラムが台風など荒天により流失してしまったためである。

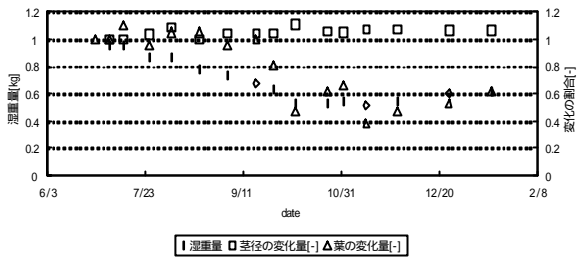


Fig.2 久里浜湾におけるアラムの計測結果

##### 4-2. アラムの生長予測

まず、成熟期にある平均的なアラムについて年間変動を計算した結果を Fig.3 に示す。ここで、湿重量の変化量は5月1日の初期値を1とした割合で表示する。既存のモデルによる計算結果と比べ、改良したモデルでは8月の極大値と11月下旬の極小値で約300gの変動幅をとっており、一般に言われる季節変動をより顕著に示している。

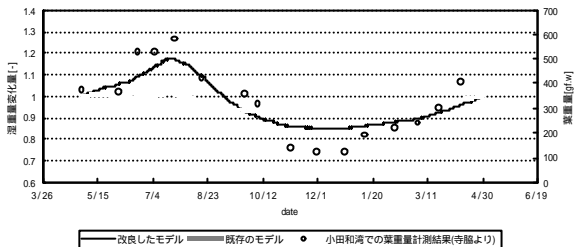


Fig.3 モデルを使ったアラムの年間変動計算 (葉重量の値は寺脇<sup>9)</sup>より抜粋)

次に、既存のモデルと改良したモデルそれぞれについて、計測で得られた水温、光量子量、栄養塩の値を用いて計算を行い、計測したアラムと比較した結果を Fig.4、Fig.5 に示す。

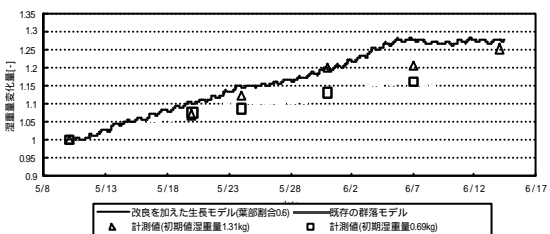


Fig.4 モデルを使った計算結果の検証

アラムの増加時期にあたる Fig.4 では、改良を加えたモデルによって湿重量の大きいアラムの生長を再現できている。また、アラムの減少時期にあたる Fig.5 では、改良したモデルによって計測値の減少していく変動を再現できている。つまり、既存のモデルに改良を加えることで、生長時期の光合成量を増加させ、同時に秋以降の減少量を増やし、結果的に季節による上下変動を大きくすることが可能となった。

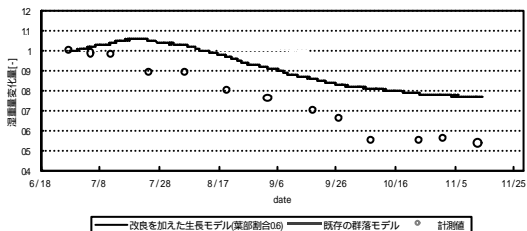


Fig.5 モデルを使った計算結果の検証

以上の結果より、改良を加えたモデルが、従来の藻場群落モデルに比べて成熟期を迎えたアラムを対象とする季節変動を精度よく再現していると判断できる。

ただし Fig.5 より、モデル結果の減少量と計測値になおもずれがあるので、「藻食動物による摂餌」や「生殖活動(遊走子の放出)」、「荒天などによる突発的な流失」などについての検討が必要である。

#### 4-3. 久里浜湾におけるアラメ藻場の影響評価

計算対象期間を2002年5月1日から12月31日とし、初期状態のアラメ分布について日比野<sup>[4]</sup>の報告より Fig.6 のように設定した。本研究では、久里浜湾に藻場がある場合とない場合の2通りの計算をし、差を比較した。

6月の溶存酸素の経時変化を Fig.7 に示す。この時期は光合成を活発に行うので、いつも北西側では溶存酸素の高い状態にある。さらに、北西方向から流れ込む平作川と導流堤の影響で、表層水は常に北東側に回り込みそのまま湾外へ流れ出ている。久里浜湾のアラメの生息域が水深3m以浅の比較的浅い場所であるため、アラメは河川水の影響を強く受ける形となり、河川から流入する海水は藻場付近に流れ込み、栄養塩が除去され、溶存酸素が増加して湾外へ出て行く。そのため湾の南西側では藻場の影響が見られず、藻場による栄養塩固定と溶存酸素供給は北東側でのみの効果となっている。

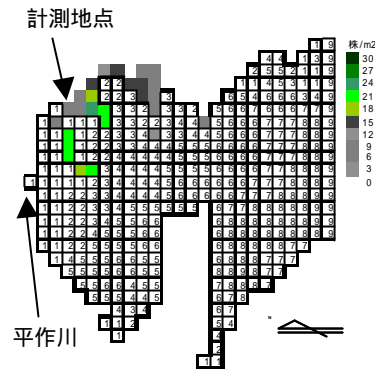


Fig.6 久里浜湾におけるアラメの初期分布

#### 5. 結言

久里浜湾の現地観測をもとに、アラメの年間変動を考慮した生長モデルの構築及び久里浜湾の水質へのアラメ藻場の影響についての検討を行い、以下の見解を得た。

- ・ 久里浜湾現地計測により、外部環境に対するアラメの応答に関してデータを得た。また茎・根部に比べて葉部の変動が大きいことから、藻場群落モデル改良への手がかりを得ることが出来た。
- ・ 葉部と茎根部に分け、先枯れの現象を考慮したアラメ生長モデルを用いて計算することにより、既存のモデルに比べて成熟期を迎えたアラメの年間変動をより詳細に表現できるようになった。
- ・ 水質予測モデルを用いて藻場のある場合とない場合の計算を行った結果、藻場付近での顕著な影響が見られた。河川から流入する栄養塩を藻場で除去し、溶存酸素の増加した海水が海流によって湾外へ運ばれる様子が再現できた。

今後は、アラメの季節変動の減少要因となる被食などについて検討をする必要がある。また、本研究の水質予測モデルではアラメのみの藻場を想定しているため、久里浜湾海草類の優占種であり、泥質に繁茂するアマモの群落の効果を入れた計算を行い、湾内の水質に与える藻場の影響をより詳細に考察する必要がある。

#### 6. 参考文献

- [1] 関西国際空港株式会社(2001):護岸生態系の機能と構造に関する検討業務報告書
- [2] 北澤大輔(2001):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、東京大学博士課程論文
- [3] 寺脇利信(1988):海中林造成技術の基礎的検討第1報、電力中央研究所報告
- [4] 日比野忠史(1999):久里浜湾の流れの特性と生態系に関する研究、港湾技術研究所報告

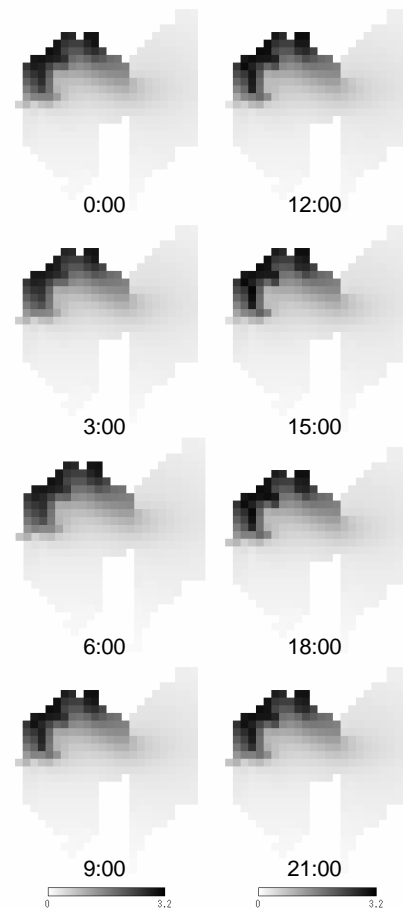


Fig.7 溶存酸素[mg/l]の経時変化