

東京湾奥部の谷津干潟におけるアオサとノリの繁殖特性

Propagation Characteristics of *Ulva* sp. and Laver in the Yatsu Tidal Flats in Inner Tokyo Bay

矢内栄二¹・本永麻衣子²・藤原誠司²・室山結実³

Eiji YAUCHI, Maiko MOTONAGA, Seiji FUJIWARA and Yumi MUROYAMA

The Yatsu Higata wetland is one of the most significant tidal flat areas remaining in Japan. Although the site was officially recognized as an important wetland for migratory bird species in 1993 when it was registered as the Ramsar Convention, the extraordinary growth of *Ulva* sp. (sea lettuce) in recent years has severely impacted the ecology of the area and has resulted in the widespread death of benthic organisms such as clams and sandworms. Conversely, the crop of laver has decreased along the periphery of the tidal flat area.. This study examined the underlying causes of the increase and decrease in the crops of *Ulva* sp. and laver populations in the field, respectively. In addition, numerical simulations were performed to estimate the flow movement of *Ulva* sp. circulating in the inner Tokyo Bay area.

1. はじめに

東京湾奥部の谷津干潟(図-1)は、ラムサール条約に登録され都市域に残された干潟として極めて貴重な存在である。しかし、近年、干潟内で大型緑藻類のアオサの異常繁茂(図-2)が生じており、水鳥の飛来数の減少や干潟環境の悪化などが問題となっている。一方、周囲のノリ漁場では収穫高が減少し、その原因として藤原ら

(2009)は東京湾奥部における貧栄養化をあげている。

そこで、本研究は、アオサ繁茂とノリ減少の関係を解明するために、現地調査により干潟環境の変化について調査を行った。また、干潟内および東京湾に繁茂するアオサが冬季に枯れなくなったことからマイクロゾム実験により繁殖特性を検討するとともに、東京湾奥部のアオサの流動特性について数値シミュレーションにより検討した。

2. 現地観測

(1) 調査日時および場所

谷津干潟は、東京湾奥部に位置する干潟であり、高瀬川と谷津川により東京湾との海水交換が行われている(図-3)。現地観測は、2003年から2008年の6年間にかけ、高瀬川(ST.1)と谷津川(ST.2)において、干潟内にアオサの繁茂する春季、腐敗する夏季、ノリの収穫期ではあるがアオサの少ない冬季の年3回の合計18回、干潟に流入する高瀬川と谷津川において実施した。調査項

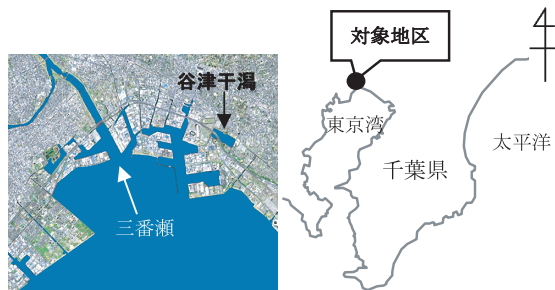


図-1 三番瀬・谷津干潟の位置



図-2 アオサの繁茂状況



図-3 調査地点

1 フェロー 工博 千葉工業大学教授工学部生命環境科学科
2 学生会員 千葉工業大学工学研究科生命環境科学専攻
3 学生会員 千葉工業大学工学部生命環境科学科

目と機器を表-2に示す。調査は、1時間ごとに採水、流速測定、アオサの採取を行った。採取した海水はHACH製DR-2400を用いて栄養塩類を分析するとともに、COD、SSについて分析を行った。計測は、すべての項目について1時間毎に26時間（2潮汐）行った。また、同時刻の河川の流量を測定するために流向・流速および水深を測定するとともに、両地点において塩分、DOの連続観測（1分ごと）を実施した。測定機器として、流向・流速はアレック社製のAEM1-Dを用いた。pH測定はHORIBA製のD-21を、塩分、DO測定はアレック社製のCOMPACT-CTW、COMPACT-DOWを用いた。Chl-a測定はアレック社製のCOMPACT-CLWを用い、蛍光光度計による抽出測定法により2台の較正を行った。アオサの流入量は、

表-1 調査日

季節	調査日
春季	2003年5/29～30
	2004年4/21～22
	2005年5/15～16
	2006年5/15～16
	2007年5/31～6/1
	2008年5/22～23
夏季	2003年9/11～12
	2004年9/1～2
	2005年7/19～7/20
	2006年8/10～11
	2007年8/9～10
	2008年7/31～8/1
冬季	2003年12/8～9
	2004年12/14～15
	2005年11/30～12/1
	2006年12/6～7
	2008年1/8～9
	2008年12/11～12

表-2 調査項目・機器

測定・分析項目	測定法・機器
流速	AEM1-D
水位	巻尺
アオサ採取	固定式ネット型採取装置
アオサ繁茂面積	目視
水温・pH	D-21
塩分	COMPACT-CTW
DO	COMPACT-DOW
Chl-a	COMPACT-CLW
COD,SS	JIS K 0102
T-N・NH ₄ -N NO ₃ -N・NO ₂ -N T-P・PO ₄ -P	多項目水質計 (DR2400)

両地点に設置した60cm四方の固定式ネット型装置の採取により計測した。採取したアオサは湿潤重量を測定し、各水路の断面積あたりの量に換算した。アオサの繁茂面積は、目視により地図上に展開して算出した。ノリの漁獲データは、谷津干潟に隣接した東京湾内の代表的ノリ漁場である千葉北部地区（三番瀬）の関連漁協から入手した。

(2) 流入水質とノリの生産

わが国では、全国的にノリの生産高が減少しており、その理由として冬季の植物プランクトンの増殖によりDIN（溶存態窒素）とDIP（溶存態リン）が消費され、海が貧栄養化となることが指摘されている（渡邊，2009）。そこで、谷津干潟に流入する海水の栄養状態とノリの生産高およびアオサの繁茂状態の関係について検討する。図-4は、DINとノリの生産高を比較したものである。ノリの生産高は三番瀬でも減少傾向にあるが、DINはほぼ一定あるいは増加傾向にある。DIPのほとんどがリン酸塩であることから、PO₄-Pとノリの生産高を比較した結果が図-5であるが、リンもほぼ一定であり、大きな減少傾向は認められない。そこで、N/P比とノリの生産高を比較した結果が図-6である。N/P比は上昇しており、窒素とリンのバランスが結果としてノリの生産高に影響を与えていることが分かる。

ノリの生産高に対する植物プランクトンの影響を調べ

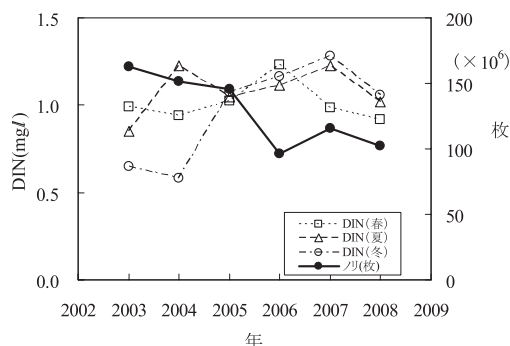
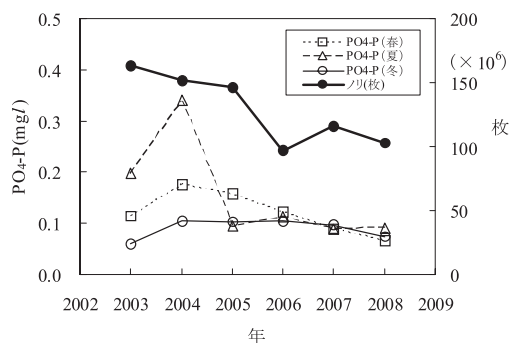


図-4 DINとノリの生産高

図-5 PO₄-Pとノリの生産高

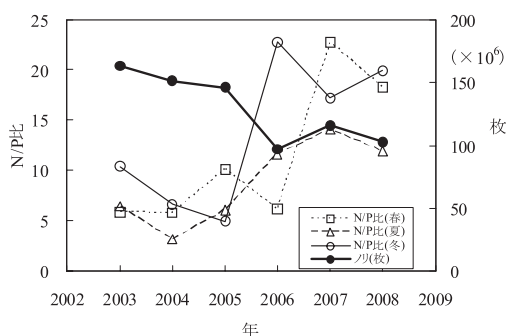


図-6 N/P比とノリの生産高

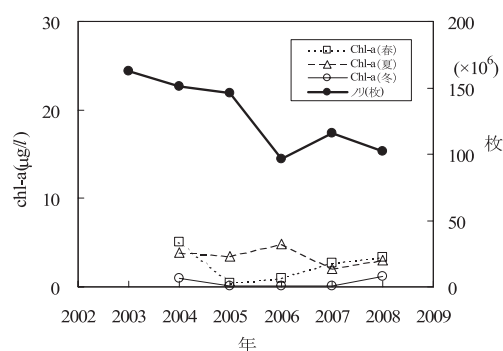


図-7 Chl-aとノリの生産高

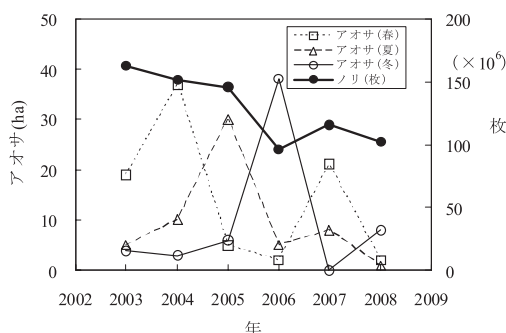


図-8 アオサの繁茂面積とノリの生産高

るため、Chl-a濃度とノリの生産高を比較した結果が図-7である。長谷川ら（2009）は、冬季の東京湾ではChl-aが40 $\mu\text{g/l}$ 以上になり植物プランクトンが栄養塩を消費してノリの減少に結びつくことを指摘しているが、谷津干潟では1 $\mu\text{g/l}$ 程度と小さく、植物プランクトンの大量増殖は認められない。

ノリとアオサの繁殖との直接的な関係を検討するため、干潟内で観測されたアオサの面積とノリの生産高の関係を比較した結果が図-8である。アオサの繁茂面積は変動が大きく、単純な相関は認められない。

以上の結果から、ノリの生産量と各項目の相関を比較した結果が表-3である。冬季のN/P比は、アオサの繁茂

表-3 ノリ生産高に対する相関係数（2003-2008）

項目	N/P比（冬）との相関	ノリの生産高
ノリの生産高	-0.90	—
アオサ面積（春）	-0.51	0.59
アオサ面積（夏）	-0.70	0.41
アオサ面積（冬）	0.60	-0.59
流入DIN（春）	0.44	-0.42
流入DIN（夏）	0.09	-0.34
流入DIN（冬）	0.60	-0.77
流入DIP（春）	-0.75	0.61
流入DIP（夏）	-0.53	0.61
流入DIP（冬）	-0.08	-0.24
Chl-a（春）	-0.24	0.63
Chl-a（夏）	-0.21	0.59
Chl-a（冬）	-0.08	0.22

面積と相関が高く、ノリの生産高とも逆相関で高くなっている。このことから、アオサがノリの生育に必要な栄養塩を奪って増殖していることが推定される。

3. アオサの培養実験

(1) 実験方法

培養実験では、アオサを谷津川付近より採取（2009/8/11, 12/10）し、淡水に1-2時間浸し前処理をして藻食生物を除去した後、2cm×2cm角に切断したものの生長過程を測定した。

培養水はテトラジャパン社のテトラマリンソルトプロによる人工海水とした。環境条件として、水槽は直射日光のあたらない室内に設置し、ライトにより水槽直上の照度を10,000～14,000luxの範囲に保った。

水温は、アオサの適性水温である20℃と、4℃前後の低水温1ケース、高水温3ケース（33℃、34℃、35℃）の計5ケースとした。栄養塩類は硫酸（速効性の窒素肥料）60mgと過磷酸石灰（速効性のリン酸肥料）60mgとし、1日1回施肥した。過磷酸石灰は非水溶性の部分が白い濁りとなるため、浄水に溶かし吸引ろ過した栄養液を使用した。

(2) 結果および考察

培養期間中のアオサの生長倍率変化を図-9に示す。ここで、生長倍率（%）＝（実験日のアオサの質量）／（実験開始日のアオサの質量）×100である。20℃のケースでは5日目以降は増加傾向がみられ、14日目にはアオサの生長倍率は106％となった。藻体は実験開始日と比較すると生長し大きくなっているのが見られた。高水温域におけるアオサは、2日目から腐敗臭が漂い、藻体に千切れやぬめりが見られた。33℃と34℃では徐々に腐敗が進み、8日目には60％程度まで減少した。14日目には、33℃でアオサの質量は初期質量の30％となり、34℃で

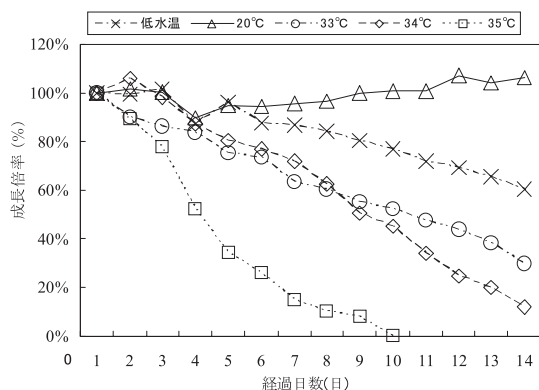


図-9 アオサの水温別生長倍率変化

はほぼすべてのアオサが褐色に変化し枯死していた。35℃については他の高水温域のケースよりも腐敗速度が速く、10日目にすべてのアオサが完全に枯死した。低水温域におけるアオサは、9日目から腐敗臭を感じるようになり、藻体は次第に色や厚さが薄くなり、脆くなった。しかし、高水温のケースと異なりアオサは腐敗が進んでも青みがあり、ぬめりもほとんど感じられなかった。

以上のことから、谷津干潟のアオサは一般的に枯死するとされる「7℃（能登谷，1999）」以下まで低水温域における耐性があり、冬季にアオサが生長することがわかった。

4. アオサの流動シミュレーション

(1) 数値計算手法

計算にはMECモデルを使用した。支配方程式はNavier-Stokesの式に基づき、浮力項でのみ密度変化を考えるブシネスク近似と静水圧近似を適用した式および連続の式である。

(2) 計算条件

計算領域は、三番瀬を中心とし谷津干潟を含む7.2km×10.36kmとした。計算条件を表-4に示す。水平渦動粘性係数は、 $\Delta x=1\text{m}$ の時の値を与え、リチャードソンの4/3乗則にしたがって自動計算された値を使用した。潮位は海上保安庁のデータより千葉港の0.65mとし、河川流量は三番瀬再生会議のデータより海老川の流量を1.125m³/sとした。江戸川放水路は行徳可動堰を閉門状態（流量0m³/s）とした。解析には6周期目から8周期目（60~96hour）を使用した。

(3) 三番瀬周辺の流速分布

三番瀬周辺の上げ潮時における流速分布を図-10 (1) (a) に示す。江戸川放水路から市川航路にかけて大きな流速が認められるほか、船橋航路、人工渚においても流速の大きな領域が見られた。

(4) 計算結果と実測値の比較

計算結果と実測値を比較した結果を図-10 (1) (b) に示

表-4 計算条件

計算格子数	360×518×7	
時間刻み Δt (s)	1.0	
助走時間 (hour)	48	
計算時間 (hour)	96	
渦動粘性係数 (m ² /s)	水平	50 ($\Delta x=1\text{m}$ の時)
	鉛直	1×10^{-3}

す。流速および流向を比較した結果、計算結果は実測値の流況をほぼ再現していると考えられる。

(5) アオサの挙動

アオサは浮遊して海面を流動することから、その挙動を観察するために質量を持たないマーカー粒子を流れに与えて流動状況を検討した。

三番瀬におけるアオサの挙動を図-10 (2) (a)～(b)に示す。アオサは上げ潮時、下げ潮時ともに江戸川放水路から市川航路にかけて見られる大きな流速の影響で北側へ流動せず、三番瀬の西側や南側へ流動した。

谷津干潟におけるアオサの挙動を図-10 (3) (a)～(b)に示す。アオサは三番瀬の東側から千葉港を経由して、船橋航路の東側から谷津干潟へ出入りしていることがわかる。このとき、アオサは高瀬川よりも主に谷津川での流動が見られた。

このことから、矢内ら（2006）が遺伝子解析により三番瀬と谷津干潟のアオサが別種であることを指摘したことは、江戸川放水路からの流れにより谷津干潟と三番瀬のアオサ流動が分断されていることによるものであることが推定された。また、三番瀬のアオサは潮流により広域に広がり、ノリの生産高に影響を与えることが認められた。

5. 結論

ノリ漁場である三番瀬のノリ漁獲高と谷津干潟におけるアオサの繁茂について検討した結果、ノリとアオサの繁殖には相関があり、ノリの漁獲高減少の原因としてアオサが関与していることが推定された。干潟のアオサは、マイクロコズム実験結果では低水温域でも繁殖することから、本来冬季に枯れるべきアオサが越冬してしまうため、ノリの栄養源を消費してしまう可能性が認められた。三番瀬のアオサの流入減について検討した結果、アオサは三番瀬の東側から千葉港を経由して谷津干潟へ出入りし、三番瀬とは異なる流入経路であることがわかった。

謝辞：本研究を進めるに際し、千葉県船橋市漁業協同組合には資料提供の便宜を図っていただいた。記して謝意を表する。

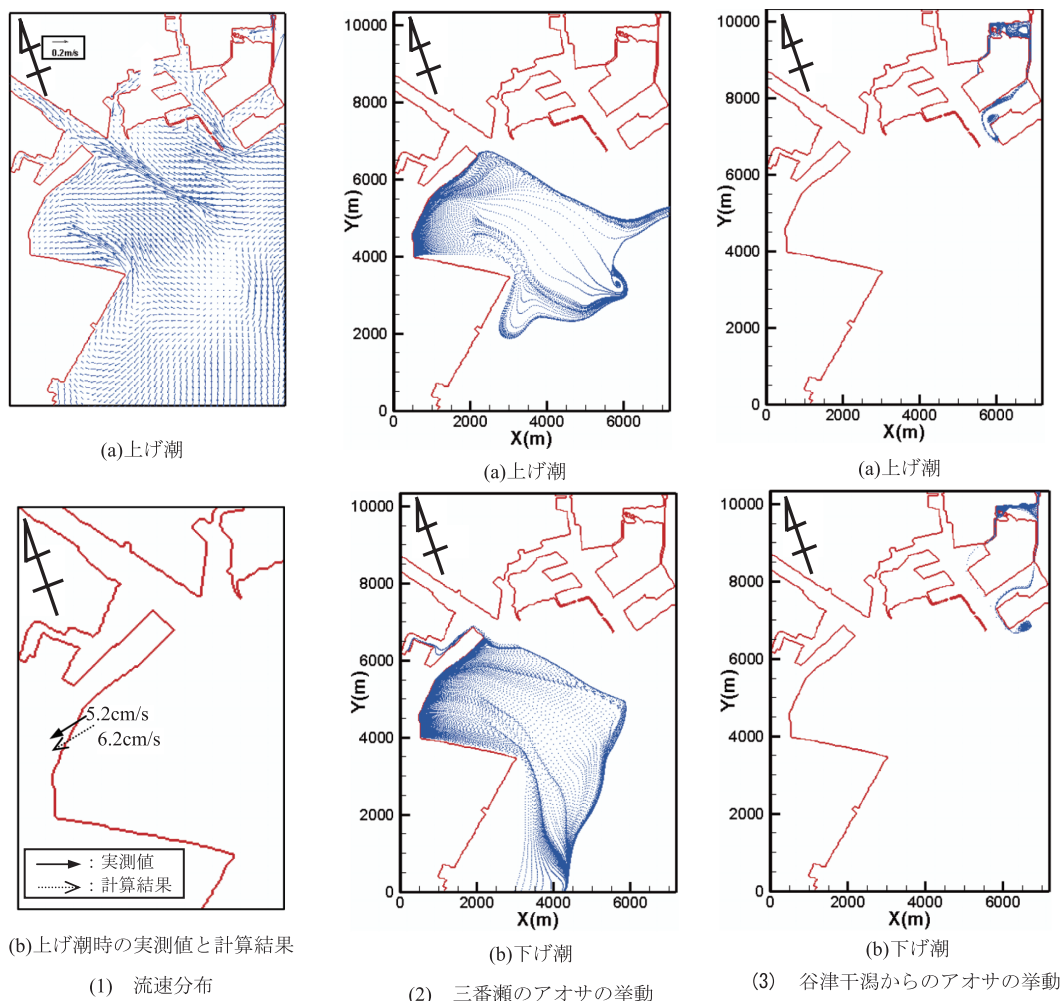


図-10 流速分布および三番瀬・谷津干潟からのアオサの挙動

参考文献

- 三番瀬: http://pref.chiba.lg.jp/syozoku/b_soukei/sanbanze/index-j.html (閲覧日 2010.3.12) .
- 海洋環境研究委員会: MEC Ocean Model , <http://mee.k.u-tokyo.ac.jp/mec/model> (閲覧日 2005.4.4) .
- 第 8 回市川海岸塩浜地区護岸検討委員会: http://www.Pref.chiba.lg.jp/syozoku/i_kakai/07-3ban/iinkai8/index.html (閲覧日 2010.3.12) .
- 高澤ゆか・本永麻衣子・津田宗男・矢内栄二 (2009): 東京湾奥部のアオサの繁殖特性に関する研究, 第 64 回土木学会年次学術講演会講演概要集 (CD-ROM), pp. 279-280.
- 津野雅俊・前林 衛 (1997): 藻場造成による浅海域利用の研究アオサの培養とその利用に関する検討, 北海道電力株式会社総合研究所研究年報, Vol.28, pp. 53-61.
- 能登谷正浩 (1999): アオサの利用と環境修復, 成山堂書店, 171p.

- 長谷川健一・林 俊裕 (2009): 海の貧栄養化とノリ養殖—東京湾の栄養塩環境とノリ養殖—, 海洋と生物, Vol.31, No.2, pp. 161-164.
- 藤原建紀・駒井幸雄 (2009): 海の貧栄養化とノリ養殖—沿岸海域の栄養塩動態—, 海洋と生物, Vol.31, No.2, pp. 134-140.
- 矢内栄二・早見友基・井本辰哉・五明美智男 (2006): 谷津干潟におけるアオサの流動特性, 海洋開発論文集, 第 22 巻, pp. 601-606.
- 矢内栄二・早見友基・井元辰哉・五明美智男 (2006): 谷津干潟におけるアオサの異常繁殖と干潟環境への影響評価, 海岸工学論文集, 第 53 巻, pp. 1191-1196.
- 矢内栄二・石井健一・井元辰哉・五明美智男 (2007): 谷津干潟におけるアオサの繁殖特性に関する現地調査, 海洋開発論文集, 第 23 巻, pp.465-470.
- 渡邊康憲 (2009): 海の貧栄養化とノリ養殖—ノリ養殖と珪藻赤潮・栄養塩—, 海洋と生物, Vol.31, No.2, pp. 112-117.