

## 谷津干潟におけるアオサの異常繁茂と干潟環境への影響評価

矢内栄二<sup>1</sup>・早見友基<sup>2</sup>・井元辰哉<sup>3</sup>・五明美智男<sup>4</sup>

ラムサール条約登録湿地である谷津干潟では、大型緑藻類のアオサの異常繁茂が問題となっており、干潟生態系の脆弱化が引き起こされている。本研究では、アオサの繁茂による影響を把握するための現地調査を行うとともに、干潟の流況とアオサ発生分布との関連性について数値シミュレーションにより検討した。また、アオサが突然越冬を始めることとなった原因と流入源の特定をするために、アオサのDNA解析を行った。その結果、谷津干潟では水質浄化能力が極めて低く、底質も嫌気的状態であることがわかった。また、アオサの発生分布には干潟内の流況が大きく起因しているとともに、谷津干潟のアオサは同じ東京湾内である三番瀬や海の公園とは別種である可能性が示唆された。

### 1. はじめに

ラムサール条約登録湿地(1993 年)である谷津干潟(図-1)は、東京湾奥部に位置する面積約 40 ha、平均水深約 80 cm の干潟である。周囲の埋立開発により都市域に残された貴重な干潟であり、その存在は近隣の三番瀬とも相まって、ますます価値が高まっている。しかし、近年、干潟内で大型緑藻類のアオサが異常繁茂し、ペントス類の斃死や底質の嫌気化、さらには水鳥の減少などを引き起こしている。写真-1 は 2003 年の各季節におけるアオサの発生状況を示したものであるが、特に春季に多く発生している。また、最近では枯れずに越冬するなどの現象が生じており、このままでは干潟全域がアオサで埋め尽くされる恐れがある。

そこで、本研究では谷津干潟においてアオサが異常繁茂した原因とその対策を検討するため現地調査を行った。また、干潟東部でアオサの繁茂が目立っていることから、数値シミュレーションによりアオサの流入経路を検討した。さらに、アオサが突然越冬を始めることとなった原因と流



図-1 谷津干潟の位置

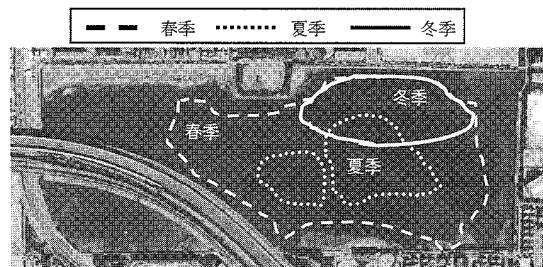


写真-1 アオサの発生状況(2003)

入源の特定をするために、アオサの DNA 解析を行った。

### 2. 現地観測による解析

#### (1) 観測概要

谷津干潟は、かつて東京湾に面した前浜干潟であったが、1970 年代初頭から始まった周囲の埋立工事から取り残され、潟湖的な干潟を形成している。現在は高瀬川と谷津川の東西 2 本の水路により東京湾と結ばれており、これらを通じて水の交換が行われることで、干潟としての機能が保たれている。現地観測は、表-1 に示すように 2003 年から 2005 年の 3 年間にかけて、干潟に流入す

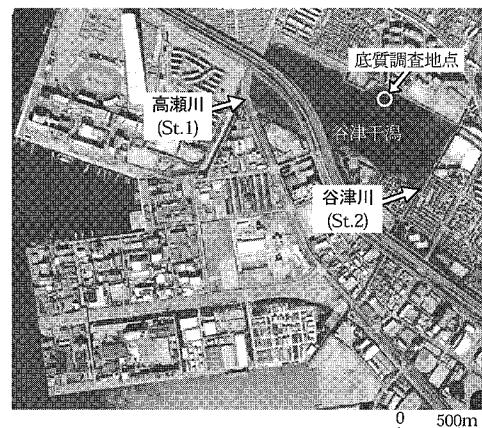


写真-2 観測地点

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 正会員 工修 (前)千葉工業大学大学院 工学研究科土木工学専攻  
3 学生員 千葉工業大学大学院 工学研究科生命環境科学専攻  
4 フェロー 工博 東亜建設工業㈱技術研究開発センター

る高瀬川(St. 1), 谷津川(St. 2)において(写真-2), アオサの繁茂する春季, アオサの腐敗する夏季, アオサの少ない冬季の年3回, 合計9回行った。調査項目と機器を表-2に示す。

調査は, 2潮汐の間1時間ごとに表層水を採水して水温, pHを測定するとともに, 各栄養塩類, COD, SS, Chl-aを分析した。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・流速はアレック電子製のACM-210-DとAEM1-Dを用いた。pH測定はHORIBA製のD-21を, 塩分およびDO測定は三洋測器のメモリー塩分水温計(MTC-1), メモリーDO計(MDO-1)を用いた。アオサの流入出量は, 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行った。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。また, 2004/12以降の調査においては, 腐敗したアオサが最も堆積する干渉奥部において底質の粒度測定と底質中DOの連続観測を行った。

## (2) 谷津干渉内の水質環境

谷津干渉は東京湾奥部に位置することから, 流入水の水質環境は良くない。図-2は, 代表的な例として2005年5月に計測された全リン(T-P)の時系列である。流入出にかかわらず, 水産3種の環境基準値である0.09mg/lを大きく上回る0.25mg/l前後の値でほとんど変

表-1 調査日時

項目	調査日
春季	2003年5/29-30
	2004年4/21-22
	2005年5/9-10
夏季	2003年9/11-12
	2004年9/1-2
	2005年7/19-20
冬季	2003年12/8-9
	2004年12/14-15
	2005年11/30-12/1

表-2 調査項目

測定・分析項目	測定法・機器
流向・流速	電磁流速計
水位	巻尺
アオサ採取	固定式ネット型装置
水温・pH	pH測定器
塩分・DO	連続式水質計
Chl-a	工業排水試験法
COD	JIS K 0102
SS	
T-N, NH <sub>4</sub> -N NO <sub>2</sub> -N, NO <sub>3</sub> -N T-P, PO <sub>4</sub> -P	HACC DR-4000U, DR-2400

化なく推移していることが認められる。

図-3は, 写真-1で示した2003年におけるアオサ面積最小(12月)および最大(5月)時の塩分濃度の時系列変化である。村上ら(2000)は, 谷津干渉におけるアオサの異常増殖要因として淡水流入の減少をあげているが, 本調査では5月は塩分濃度が25~30%にあるのに対し, 12月は5月よりも若干高い26~32%になっていることが特徴的である。

図-4は, COD, 全窒素(T-N)および全リン(T-P)の平均値についての経年変化を示したものである。CODは冬季に環境基準A類型の2mg/lまで下がるもの, 夏季にはC類型の8mg/lを超える値となり, 非常に有機物が多い状態となっている。これは, T-NおよびT-Pについても同様であり, 谷津干渉の水質環境は過栄養状態といえる。

図-5は, 2005年7月の2河川および干渉中央部底質

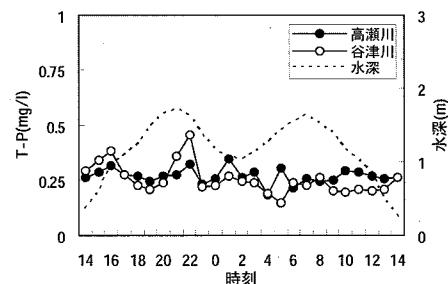
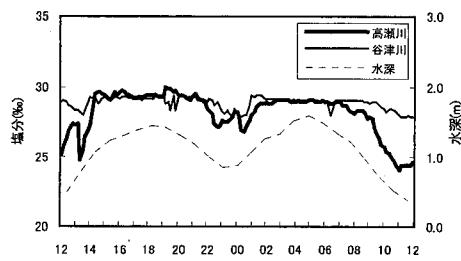
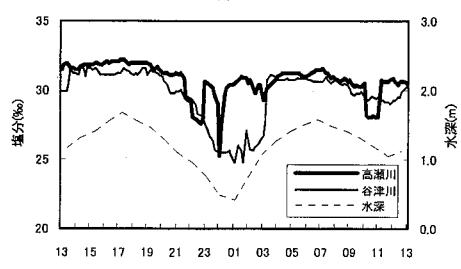


図-2 T-Pの時系列変化(2005/5)



(a)5月



(b)12月

図-3 塩分濃度の時系列変化(2003)

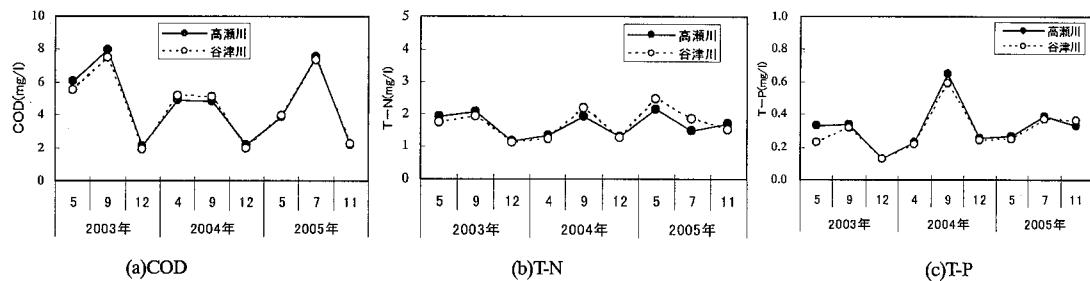


図-4 COD および栄養塩の経年変化（平均値）

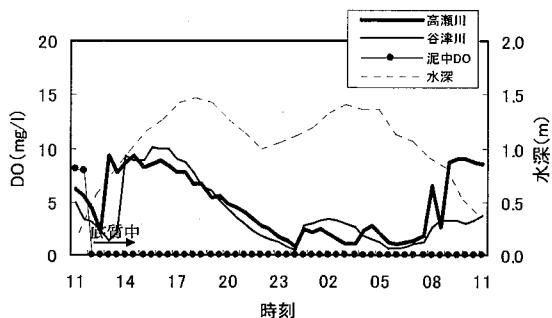


図-5 DO 濃度 (2005/7)

中の DO の時系列変化を示したものである。谷津干潟では年間を通して魚類を確認することができるが、アオサの腐敗の目立つ干潟奥部では極めて嫌気的な底質環境であることが明らかとなった。底質の DO はゼロに近い貧酸素状態であり、そのため下げ潮時には底質からの貧酸素水が流出して、谷津川・高瀬川とともに 1 mg/l 前後まで DO が低下している。

### (3) 谷津干潟の物質収支

既述のように、谷津干潟の水質環境が悪化していることから、干潟の水質浄化能力を把握するため 2 潮汐間ににおける物質収支を算定した。収支の算定方法として、まず上げ潮、下げ潮それぞれについて、各時刻、各地点での流量および各物質濃度を時間に関して積分することに

表-3 干潟の物質収支(kg/day)

	DIN	T-N	DIP	T-P	COD
2003/5	-140	-43	-22	20	71
9	11	20	-24	-42	-34
12	8	-8	-12	-14	-197
2004/4	47	31	5	3	-29
9	19	-103	-18	-6	498
12	-5	5	-9	-32	-164
2005/5	-71	187	-15	-22	197
7	41	-12	-13	-22	340
11	12	23	-1	-6	147

より、干潟内に流入出した物質量を求める。次に両者の差により東京湾 - 干潟間の物質収支を算出した。

結果を表-3 に示す。正の値は干潟における物質の固定を、負の値は東京湾への排出を示している。溶存態窒素(DIN) 収支について見ると、2003/5 には大きく流出していることがわかる。この時期は気温上昇に伴い干潟内で繁茂していたアオサが腐敗し始める時期であるため、これらが窒素収支に影響したものと考えられる。また、COD は冬季(2003/12, 2004/12) に大きく流出している。冬季は海域の物質濃度が低いにもかかわらず、干潟からの有機物排出量が大きいことから、谷津干潟の水質浄化能力は極めて低いものと考えられる。

### (4) アオサの流入特性

東京湾から流入するアオサの影響を把握するため、2 潮汐間におけるアオサの輸送量を検討した。表-4 は各河川で採取されたアオサの流入・流出量および収支を示したものである。アオサの繁茂が盛んな春季においては、夏季・冬季に比べ流入量が大きく、特に谷津川からの流入が多い結果となった。このことより、春季におけるアオサの繁茂は、谷津川から流入するアオサの影響が大き

表-4 アオサの輸送量(kg/day)

	流入	流出	収支
2003/5	231 (高: 44, 谷: 187)	321 (高: 122, 谷: 198)	-90
9	40 (高: 26, 谷: 14)	319 (高: 142, 谷: 177)	-279
12	65 (高: 26, 谷: 39)	562 (高: 29, 谷: 533)	-497
2004/4	157 (高: 60, 谷: 97)	239 (高: 44, 谷: 195)	-82
9	62 (高: 11, 谷: 51)	250 (高: 216, 谷: 34)	-188
12	80 (高: 27, 谷: 53)	32 (高: 21, 谷: 11)	48
2005/4	105 (高: 63, 谷: 42)	97 (高: 69, 谷: 28)	8
7	187 (高: 164, 谷: 23)	767 (高: 353, 谷: 414)	-580
12	154 (高: 80, 谷: 74)	236 (高: 33, 谷: 203)	-82

※高: 高瀬川  
谷: 谷津川

いものと考えられる。2005/7には、東京湾内における油流出の影響を防ぐため谷津川河口部にオイルフェンスが張られたが、このときはアオサの流入量が抑えられている。このことから、アオサの流入対策として谷津川における流入防止が効果的であることが考えられる。

### 3. 谷津干潟の流況特性

谷津干潟では、特に東側においてアオサの繁茂が集中しており、干潟内の流況がアオサの発生分布に関与している可能性が考えられる。そこで、アオサの発生分布との関連性について検討するため数値シミュレーションによる解析を行った。物理モデルは海洋環境研究委員会が作成した MEC モデルを用いた。

#### (1) 支配方程式

支配方程式は Navier-Stokes 式および連続の式であり、静水圧近似を仮定して浮力についてのみ密度変化を考慮するブシネスク近似を用いている。座標系は鉛直上向きを正とするデカルト座標系、格子は直交格子のバリアブルメッシュ、変数配置はスタッガード配置とした。空間差分は、移流項に三次上流差分、粘性拡散項に中央差分を用い、時間差分は forward-backward scheme を適用している。

#### (2) 解析対象域と計算条件

計算条件を表-5 に示す。計算領域は  $x$  方向 1,220 m,  $y$  方向 820 m とし、計算格子数は  $x$ ,  $y$  方向にそれぞれ  $170 \times 120$  分割した。鉛直方向のメッシュ幅は 0.5 m とし、干潟の最深部では 4 層となる。境界条件は高瀬川・谷津川水路を開境界とし、平均水深 0.8 m を基準に現地観測によって得られた振幅 0.5 m を与えた。

#### (3) 計算結果

表-5 計算条件

計算格子数	$170 \times 120 \times 4$
時間刻み	0.5 sec
計算時間	60 hour
初期条件	T.P. 0 m 流速 0 m
境界条件	振幅 0.5 m 周期 12 hour

干潟内の流速分布を図-6 に示す。上げ潮時には谷津川から流入した海水が干潟東部において循環流を形成している。図-7 は干潟内のアオサの流動過程を再現するためマーカー粒子を投入し、その軌跡を示したものである。谷津川から流入したアオサは上げ潮時には図-6 の循環流により干潟の東側で反時計周りに流動する。また、高瀬川から流入したアオサも東側に向かって流れている。このことから、両河川から流入したアオサは干潟内東部に集まる傾向があるものと考えられ、本計算の結果から

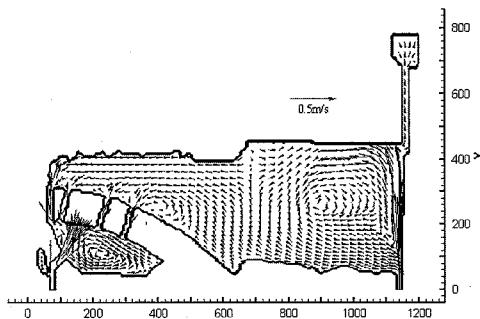
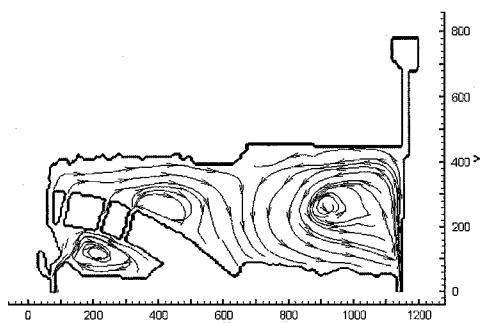
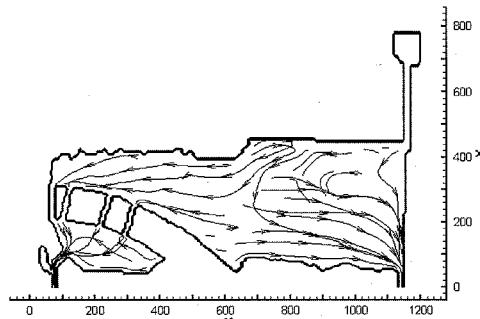


図-6 干潟内の流速分布（上げ潮最大時）



(a) 上げ潮時



(b) 下げ潮時

図-7 アオサの流動

もアオサの流入対策を谷津川に実施することが効果的であると推定される。

一方、下げ潮時には底質 DO を観測した干潟奥中央部から西部に向かってアオサが流れしていく。干潟奥中央部は、既述のようにアオサの腐敗と底泥の嫌気化が著しい場所である。表-3 では栄養塩の流出の内訳を明示していないが、2003/5 の場合高瀬川が 117 kg/day、谷津川が 23 kg/day と特に高瀬川で流出が顕著であったことから、干潟奥部では腐敗したアオサからの栄養塩の放出や嫌気化した底泥からの栄養塩の流出が起こっているものと考えられる。

#### 4. アオサの DNA 解析

石井ら（2001）は、谷津干潟内のアオサをアナアオサと推定し、春季の繁殖を問題としていた。しかし、最近はアオサが枯れることなく越冬し、年間を通してアオサの繁茂が目立つようになった。そこで、谷津干潟において冬季（2003/12）と夏季（2004/9）にアオサを採取し、DNA解析によりアオサの季節的な特徴について検討を行った。また、谷津干潟近隣におけるアオサ大量発生地として問題となっている三番瀬および横浜の海の公園において、2004/11の調査時に同時に採取したアオサについてDNA解析を行い、谷津干潟のアオサとの関連性について検討を行った。

分析の結果、今回の解析では谷津干潟のアオサからは 867 個、三番瀬、海の公園は 877 個の塩基配列を得た。それぞれの塩基配列の一部について比較した結果を図-8 に示す。谷津干潟において 2003/12 と 2004/7 に採取したアオサの塩基配列の相同性は 100 % であり、谷津干潟では冬季と夏季は同じ由来のアオサが繁茂していると考えられる。地点別に塩基配列を比較すると、三番瀬と海の公園の塩基配列はすべて一致するが、谷津干潟と三番瀬のアオサの相同性は 88.6 % となった。このことから、三番瀬と海の公園は同じ由来のアオサが繁茂し、谷津干潟は別の由来を持つと考えられる。

得られた塩基配列について日本 DNA データバンク (DDBJ) 内の BLAST search により、相同性のあるデータを検索した結果を図-9 に示す。谷津干潟では 27 番目から 463 番目の範囲で 437 個の塩基配列のうち 95 % が *Ulva ohnoi* (ミナミアオサ, AB116034) と一致していた。一方、三番瀬・海の公園では、27 番目から 453 番目の範囲で 427 個の塩基配列のうち 98 % が *Ulva pertusa* (アナアオサ, AB097658) と一致していた。

以上のことより、谷津干潟のアオサ種はミナミアオサ、三番瀬・海の公園はアナアオサに近い種である可能性が考えられる。

論結

アオサの異常増殖が発生している谷津干潟において、干潟環境を解析した。その結果、谷津干潟ではアオサの腐敗により栄養塩が大幅に流出し、浄化能力が大きく低減していることがわかった。また、両河川から流入した海水は、干潟の東側に流れる傾向が認められ、アオサが干潟東部で繁茂する要因となっていることがわかった。さらに、アオサの輸送は春季に最も多く、特に谷津川で多く流れていることがわかった。このことから、谷津川からのアオサの流入を防ぐことがアオサの繁茂に対して効果的であることが示された。

181'	TTCCCGCGGG CGGGGGGGGC CG (2003/12)				
	***** * ***** ***				
181"	TTCCCGCGGG CGGGGGGGGC CG (2004/7)				
	(a) 谷津干潟 (2003/12-2004/7)				
177'	GGGGGGGCCA GGTCCACCGC CA (三番瀬)				
	***** * ***** ***				
181"	GGGGGGGCCA GGTCCACCGC CA (海の公園)				
	(b) 三番瀬・海の公園				
179'	AGTTCCCGCGC GGCGGGGGGC GC (谷津干潟)				
*	*	*	*	*	*
179"	GGGGGCCAAGG TCCACCGCGCA AG (三番瀬)				
	(c) 谷津干潟・三番瀬				

図-8 塩基配列の比較

(a) 谷津干潟

(b) 三番瀬

卷者高哉

- 石井裕一・村上和仁・矢内栄二・石井俊夫・瀧和夫(2001)：東京湾奥部に位置する潟湖化干潟におけるアオサの栄養塩吸収特性、海岸工学論文集、第48巻、pp.1136-1140。

海洋環境研究委員会：<http://mee.k.u-tokyo.ac.jp/mec/model/>、参照2005-04-04。

日本DNAデータバンク：<http://www.ddbj.nig.ac.jp/>、参照2006-02-25。

能登谷正浩編(1999)：アオサの利用と環境修復、成山堂書店、171p。

村上和仁・石井裕一・瀧和夫・長谷川昭仁(2000)：東京湾奥部に位置する潟湖化干潟の遷移特性、海岸工学論文集、第47巻、pp.1121-1125。

矢内栄二・早見友基・石井裕一・立本英機(2003)：谷津干潟に作用する東京湾の環境ダイナミクス、環境情報科学論文集17、pp.327-330。

矢内栄二・早見友基・五一明美智男・村上和仁・瀧和夫・石井裕一(2004)：現地調査に基づく春季の谷津干潟におけるアオサの流入特性、海洋開発論文集Vol.20、pp.341-346。

Yauchi,E., T.Hayami and M.Gomyo (2004) : Analysis of the Extraordinary Proliferation of *Ulva* sp. in an Urban Wetland, The Proceedings of The Fourteenth International Offshore and Polar Engineering Conference, pp. 746-750.