

谷津干潟におけるアオサの流動特性

FLOW CHARACTERISTICS OF *ULVA* SP. IN YATSU HIGATA

矢内栄二¹・早見友基²・井元辰哉²・五明美智男³

Eiji YAUCHI, Tomoki HAYAMI, Tatsuya IMOTO, Michio GOMYO

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 (〒275-8588 千葉県習志野市津田沼2-17-1)

²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 (〒275-8588 千葉県習志野市津田沼2-17-1)

³フェロー 工博 東亜建設工業(株) 技術研究開発センター (〒230-0035 神奈川県横浜市鶴見区安善町1-3)

Yatsu Higata is one of the most significant remaining tidal flats in Japan. In recent years, Yatsu Higata has witnessed an extraordinary growth of *Ulva* sp. algae. This paper explores the possible origins of the *Ulva* sp. in Tokyo Bay and describes field studies intended to explore the nutrient dynamics in Yatsu Higata and Tokyo Bay. Study results show that the *Ulva* sp. flourishes in Yatsu Higata due to a ready supply of nutrient runoff supplied by the Yatsu River. The water of Yatsu Higata contains high levels of nitrate nitrogen, which is considered to strongly affect the growth of *Ulva* sp. The ability of Yatsu Higata to purify seawater is reduced in the summer and winter due to the presence of *Ulva* sp.

Key Words : *Ulva* sp., tideland, lake-tidal flat, Tokyo Bay

1. はじめに

干潟には、高い水質浄化能力と生物生産能力を兼ね備えた生態的機能が存在する。干潟の砂や泥の粒子の間には多くの細菌、原生動物などが棲息し、また底生生物も豊富である。その豊富な生物を求めて、干潟には鳥たちが飛来する。特に、渡り鳥にとっては長旅の途中で羽を休めエネルギーである食物を与えてくれる場所として、欠かせないものであるとともに、人々の親水の間として貴重な存在となっている。このように、干潟環境の保全は多くの生物にとって重要な意義を有している。

千葉県習志野市にある谷津干潟は、周囲の埋立工事により都市域に残された干潟として極めて貴重な湿地である。しかし、最近干潟内に大型緑藻類のアオサが異常繁殖し、環境への影響が問題となっている。アオサが干潟内に繁茂した結果、有機物の浄化に貢献しているアサリやゴカイなどのベントス類の斃死や、腐敗による底泥の嫌気化を引き起こし、本来干潟が持っている浄化機能が失われる結果となっている。

そこで本研究では、干潟内におけるアオサの流動について3ヶ年にわたり現地調査を行うとともに、水質の変化過程についても定量的に評価し、アオサの異常繁茂と干潟の浄化機能に及ぼす影響について検討した。

2. 谷津干潟におけるアオサの繁茂状況

谷津干潟(図-1)は、東京湾奥部に位置する面積約40ha、平均水深約80cmの干潟である。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埋立工事によって、周囲を陸域に囲まれた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河川により東京湾と結ばれており、これらを通じて海水の交換が行われ、干潟としての機能が保たれている。また、干潟には1年を通して多くの渡り鳥が訪れることから、



図-1 谷津干潟の位置

1993年にラムサール条約に登録された。

アオサは海洋性の大型緑藻類であり、筒状のもの、それらが枝分かれたものがある。日本沿岸で見られるアオサは11種とされているが、同じ種でも個体によって形や大きさが大きく異なり、生育環境によっても形態が変化し、体のつくりが単純で形態的特徴も少ないなどの理由から分類が非常に難しいとされている。

アオサは主に窒素やリンを吸収して成長し、その生長速度は非常に高く、富栄養化した波の静かな内湾においてグリーンタイドと呼ばれる大量繁殖を引き起こすことが知られている。

写真-1は春季の谷津干潟におけるアオサの繁茂状況を示したものである。干潟東部から中部にかけて干潟底面をアオサが完全に覆った状態となっている。このように広範囲に厚く堆積することで底生生物の窒息死を招く結果となる。写真-2は腐敗したアオサの状況であるが、アオサが繁茂した底質は夏季には黒色の還元状態となり、バントス類は皆無であることが確認されている¹⁾。このことは、アオサの腐敗に伴う底泥の嫌気化により生態系の脆弱化を進行させているものと考えられる。また、アオサの発生面積は年々増加の一途をたどっており、このままでは干潟全体がアオサで覆われる可能性も危惧されている。



写真-1 干潟東部



写真-2 腐敗したアオサ

3. 観測概要

現地観測は、谷津干潟に流入する高瀬川 (ST.1)、谷津川 (ST.2) において (写真-3)、アオサの繁茂する春季、アオサの腐敗する夏季、比較的アオサの少ない冬季の年3回、大潮時に行った。本研究では2003年～2004年の3年分のデータを使用した (表-1)。調査項目と機器を表-2に示す。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した。水質として、塩分、DOの連続観測および表層水を採取し、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。機器として、流向・流速はアレック電子製の電磁流速計



写真-3 観測地点

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	メジャー
アオサ採取	固定式ネット型採取装置
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 JIS K 0102
COD	
SS	
T-N, NH ₄ -N NO ₂ -N, NO ₃ -N T-P, PO ₄ -P	HACC DR-4000U

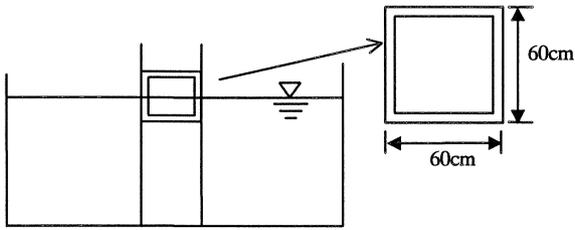


図-2 固定式ネット型装置

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。また、Chl-aに関してはアレック電子製の小型メモリークロロフィル濁度計(COMPACT-CL)を用いて蛍光測定を行い、Chl-a濃度に換算した。アオサの流入量は、両地点の水面に設置した60cm四方の固定式ネット型装置(図-2)により測定した。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。これらの項目はすべて1時間ごとに計測を行った。

4. 観測結果

(1) アオサ繁茂の季節的特性

2003年に観測した春～冬の各季節におけるアオサ発生面積の変化を写真-4に示す。春季には干潟東部から中部にかけてアオサの繁茂を確認し、面積は干潟の半分を占める約20haであった。夏季は干潟中央部でアオサが見ら

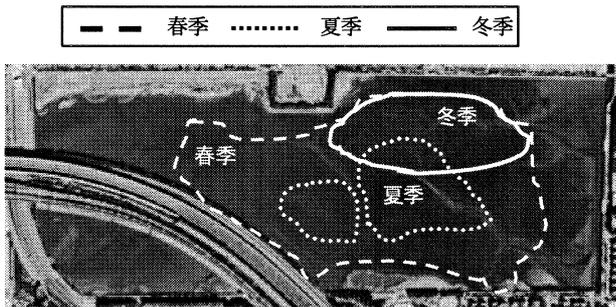


写真-4 アオサの発生状況(2003)

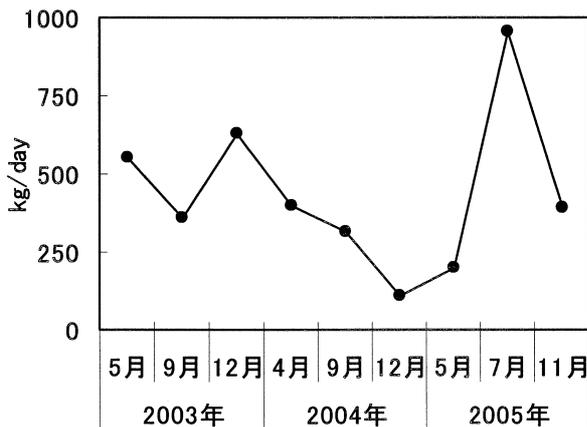
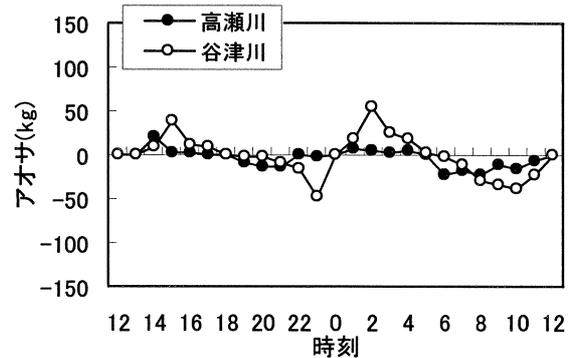


図-3 アオサ採取重量

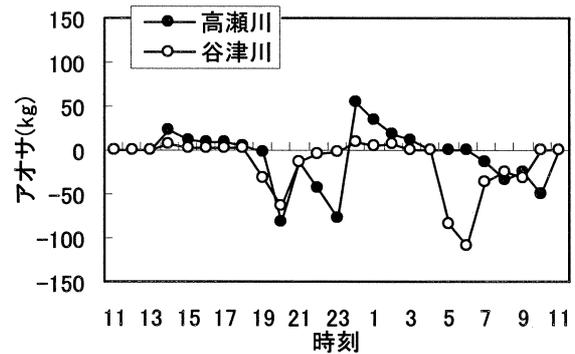
れ、特に枯死しているものが多く存在していた。冬季は干潟奥部に存在していたものの、発生面積は年間を通して最も小さくなった。

図-3は、採取したアオサ質量(浮遊分)を示したものである。干潟に堆積したアオサは潮流によって流入・流出を繰り返すが、採取されたアオサの量は500kg/dayで推移、最大は2005年7月の954kg/day、最小は2004年12月の112kg/dayであった。この内訳を分析するため、2003年5月と2005年7月のアオサの時系列変化を示したものが図-4である。

正の値は干潟内への流入を、負の値は東京湾への流出を表している。干潟内にアオサが広く繁茂している2003年5月は流入と流出が同程度で推移しており、これがアオサ発生面積の減少が見られない理由であると考えられ



(a) 2003/5



(b) 2005/7

図-4 アオサの時系列変化

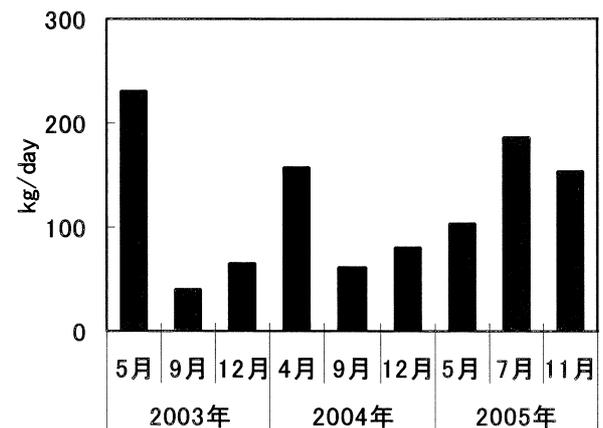


図-5 アオサの流入量

る。2005年7月は流出量が流入量を大きく上回っているが、このとき千葉港内で油の流出事故が発生し、谷津川河口部（写真-3の○印）にオイルフェンスが敷設されていた。そのため、東京湾からのアオサの流入が抑えられたが、干潟からの流出量は大きくなる結果となった。

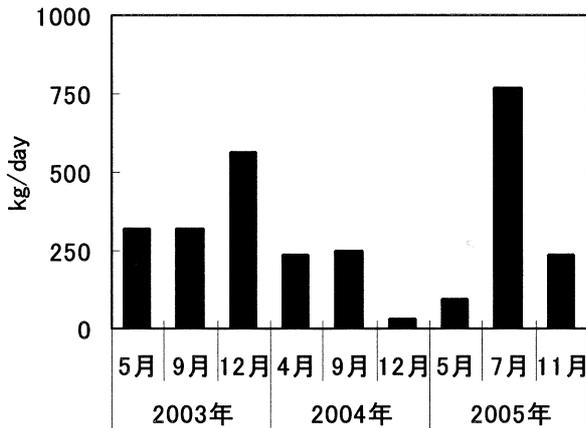
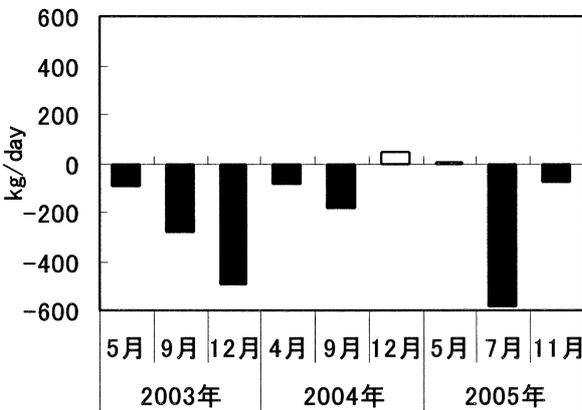


図-6 アオサの流出量



そこで、アオサの流入量と流出量、およびその収支について比較した結果が図-5~7である。アオサの流入量は春季の5月には年々減少しているのに対して、7月および11月には増加する傾向にある。谷津干潟では、これまで冬にはアオサが消滅していたが、2004年からアオサが枯れずに越冬する傾向が認められているが、その原因としてこの冬季の流入増加が考えられる。アオサの流出量は先の理由による2005年7月を除いてほぼ250~500kg/dayで推移しており、流入の増加と流出一定が合わさって堆積面積の増加に結びついているものと考えられる。しかし、その絶対値には差があるため、収支を算出した図-7では、2004年12月と2005年5月を除いて干潟からの流出となっており、干潟内での繁茂の理由として町田ら⁴⁾の指摘のように、干潟内でのアオサの生産が考えられる。

培養実験によるとアオサは9.63gdw/m²dayの生産力を持っている⁵⁾。谷津干潟のアオサ繁茂面積は約20haであり、谷津干潟では1日当たり乾重量で192.6kgのアオサが生産されていると試算できる。これは湿重量では約1.92tonとなり、谷津干潟がアオサの発生源になっている可能性が考えられる。

(2) 谷津干潟の物質濃度

表-3に栄養塩濃度の平均値を示す。全窒素(T-N)と全リン(T-P)の濃度はそれぞれ1.14~2.29mg/l, 0.12~0.62mg/lであった。これは環境基準値を上回る値であり、谷津干潟が年間を通して富栄養化していることがわかった。アオサの繁殖の要素を知るため、栄養塩としてT-NおよびT-Pの日変化について検討する。図-8は2005年の5月、7月、11月の各調査におけるT-Nの1日の時系列を示したものである。T-Nは季節的な変動が認められず、

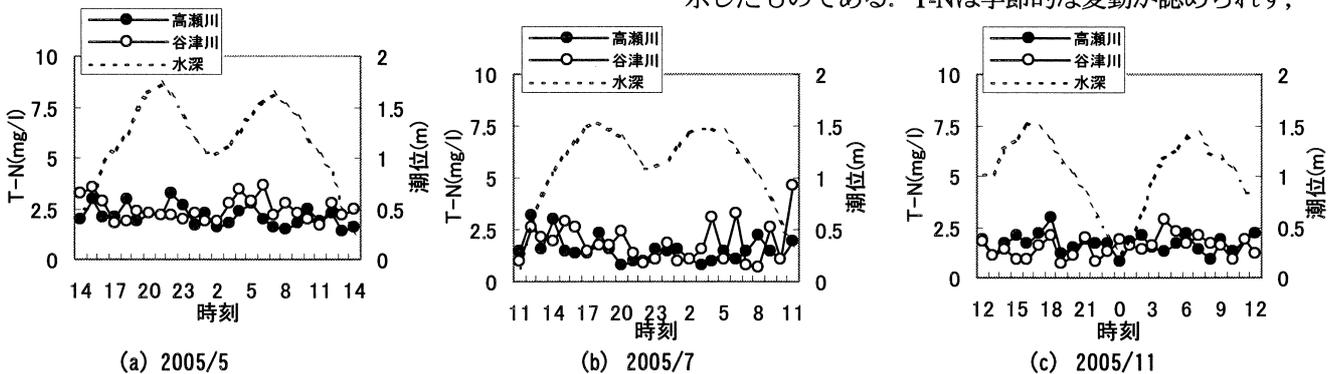


図-8 T-Nの時系列変化

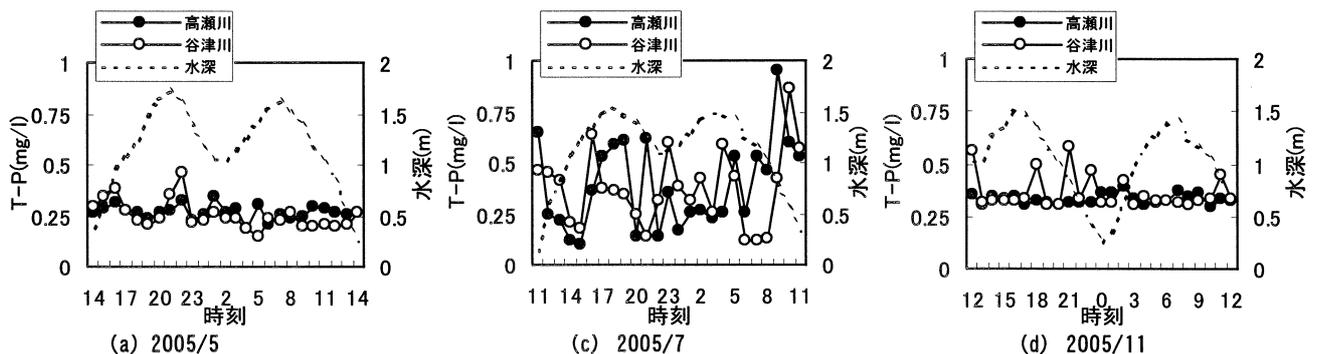


図-9 T-Pの時系列変化

表-3 栄養塩濃度 (mg/l)

項目	2003年			2004年			2005年		
	5月	9月	12月	4月	9月	12月	5月	7月	11月
NH ₄ -N	0.31	0.32	0.12	0.23	0.48	0.24	0.42	0.47	0.28
NO ₂ -N	0.04	0.04	0.03	0.03	0.06	0.03	0.03	0.05	0.03
NO ₃ -N	0.73	0.46	0.50	0.61	0.62	0.31	0.60	0.45	0.74
T-N	1.82	2.00	1.14	1.29	2.04	1.29	2.29	1.68	1.62
PO ₄ -P	0.12	0.21	0.07	0.17	0.38	0.12	0.17	0.12	0.11
T-P	0.28	0.33	0.12	0.22	0.62	0.25	0.26	0.38	0.35

表-4 物質収支 (kg/day)

項目	2003年			2004年			2005年		
	5月	9月	12月	4月	9月	12月	5月	7月	11月
NH ₄ -N	-89	-26	-13	20	5	39	-17	4	-12
NO ₂ -N	-4	-12	-1	-1	-9	0	-1	-3	1
NO ₃ -N	-48	49	22	28	23	-44	-53	40	23
DIN	-140	11	8	47	19	-5	-71	41	12
PN	97	9	-16	-15	-122	10	258	-53	12
T-N	-43	20	-8	31	-103	5	187	-12	23
PO ₄ -P	-22	-24	-12	5	-18	-9	-15	-13	-1
PP	42	-18	-3	-2	13	-23	-7	-9	-5
T-P	20	-42	-14	3	-6	-32	-22	-22	-6
COD	71	-34	-197	-29	498	-168	197	340	147
SS	1590	-356	-1883	-2506	766	-1946	505	1794	-48

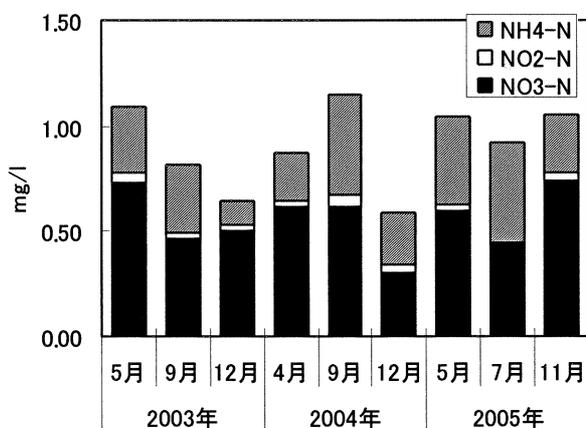


図-10 形態別の窒素濃度

また2河川とも同程度で推移している。

アオサの消長には、栄養塩類のなかでも溶存態窒素 (DIN) が大きく作用することが知られている。溶存態窒素は、アンモニア態窒素 (NH₄-N)、亜硝酸態窒素 (NO₂-N)、硝酸態窒素 (NO₃-N) の3つの形態で構成される。そこで、形態別の溶存態窒素を基に谷津干潟の水質状況について検討を行った結果が図-10である。硝酸態窒素が溶存態窒素の46.1%~77.6%を占めており、谷津干潟は無機塩類のうち硝酸性窒素が高いことがわかる。アオサは硝酸性窒素の吸収速度が大きいことから、谷津干潟ではアオサが繁茂しやすい窒素形態であると考えられる。

(3) 谷津干潟の物質収支

アオサが繁茂した干潟の浄化能力を把握するため、2潮汐間 ($Q_{in}=Q_{out}$) における物質収支を算出した。収支の算出方法として、まず上げ潮、下げ潮それぞれについて、式(1)のように各時刻、各地点での流量 $Q(t)$ および各物質濃度 $C(t)$ を時間に関して積分することにより、干潟内に流入出した物質量 $F_{in, out}$ 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 (式(2))。

$$F_{in,out} = \int C(t)Q(t)dt \dots\dots\dots(1)$$

$$F = F_{in} - F_{out} \dots\dots\dots(2)$$

ただし、 $Q_{in} = Q_{out}$

結果を表-4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。

リンについてみると、無機態リンが2004年4月に5kg/day、有機態リンが2003年5月に42kg/day、2004年9月に13kg/day干潟に取り込まれていたが、それ以外の季節では流出しており、谷津干潟のリン浄化能力は低下していることがわかった。

全窒素は変動が大きく季節的な特徴は見られなかった。谷津干潟におけるアオサの現存量は1.26kg/m²であり (環境庁ほか, 1996)、これは窒素に換算すると900kgとなり、アオサの消長が谷津干潟の窒素収支に大きな影響を与えている可能性が考えられる。

窒素を形態別に見ると、硝酸態窒素は流入傾向が強く、干潟内で利用されているものと考えられる。亜硝酸態窒素は2005年11月、2004年12月をのぞいて干潟から流出しており、特に夏季において排出量が増加していることがわかった。また、CODとSSについては特に明瞭な傾向は見られなかった。

6. まとめ

(1) アオサの繁茂特性

谷津干潟に流入するアオサの量は、春季では減少、夏季・冬季では増加傾向にあることがわかった。2005年には各季節共に100kg/dayを超えるアオサが流入しており、年間を通したアオサ対策を講じる必要だと考えられる。また、谷津干潟はアオサの流出量が大きく、アオサの発生源となっている可能性が示唆された。

(2) 谷津干潟の水質環境

谷津干潟の栄養塩濃度は溶存態窒素のうち硝酸態窒素が占める割合が大きく、アオサの繁茂しやすい環境であることがわかった。

谷津干潟の浄化能力は、リンについては低下していることがわかった。窒素についてはアオサの消長に大きく影響を受けているものと考えられる。

参考文献

- 1) 石井裕一・村上和仁・矢内栄二・石井俊夫・瀧和夫：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, pp1136-1140, 2001.
- 2) 矢内栄二・早見友基・石井裕一・立本英機: 谷津干潟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No.17, pp327-330, 2003.
- 3) 矢内栄二・早見友基・五明美智男・村上和仁・瀧和夫・石井裕一: 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, pp341-346, 2004.
- 4) 町田 基・石井裕一・藤村葉子・相川正美・早見友基・矢内栄二・瀧 和夫・矢部 徹・立本英機: 初夏の谷津干潟における浮遊粒子状物質及び微量重金属濃度の経時変化と物質収支, 水環境学会誌, 第28巻, 第1号, pp.15-22, 2005.
- 5) 能登谷正浩編: アオサの利用と環境修復, 成山堂書店, p171, 1999.