

# 大阪南港野鳥園北池におけるグリーンタイドの季節的変遷と 原因海藻ミナミアオサの低塩分・干出耐性に関する研究

Research on the Seasonal Succession of Green Tide and Tolerance of a Causative Seaweed  
*Ulva ohnoi* to Low Salinity and Desiccation at the North Pond of Osaka Nanko Bird Sanctuary

芳村 碧<sup>1</sup>・矢持 進<sup>2</sup>

Midori YOSHIMURA and Susumu YAMOCHI

Field surveys and laboratory experiments were conducted in 2009 to 2010 to examine methods to reduce outbreaks of green tides by *Ulva* spp. at the north pond of Osaka Nanko bird sanctuary. The green-tide-forming seaweed varied depending on the season, and *U. pertusa* predominated at the bird sanctuary from early summer to autumn, while *U. ohnoi* was abundant there from autumn to early spring. The laboratory experiments revealed that exposure of *U. ohnoi* to air with low salinity inhibited their photosynthesis at 35°C. These results, along with the preceding result of experiments for *U. pertusa* suggest the possibility of controlling a green tide of *U. ohnoi* or *U. pertusa* by a combination of exposure to air for 3-5 hours with low salinities of 15-20psu in summer.

## 1. はじめに

近年、港湾海域の整備等で消失した浅場や干潟を回復させる事例が増加している。しかし、富栄養な海域に造成された人工干潟では緑藻が異常繁茂し、潮間帯が緑色の絨毯を敷き詰めたように見える現象（グリーンタイド）が生じている。グリーンタイドの原因となるアオサなどの緑藻類は、他の海藻と比較して成長が極めて早い環境中で優占し易く、繁茂した海藻が陸域に打ち上げられ、枯死体が海底に堆積することで景観の悪化、悪臭、底質の劣化などを引き起こす。緑藻が干潟を覆うことによる二枚貝やゴカイ等の底生動物の死滅も報告されており（藤井ら，2009），世界各地で大きな社会および環境問題となっている。

日本においても、年間数千トン規模の大量のアオサが回収される地域があり、異常繁茂した藻類の処理方法が課題となっている。廃棄物として自治体などが回収し焼却処分などが行われている例もあるが（能登谷，1999）アオサの含水率が90%程度と高く自然しないため、焼却効率が下がり補助燃料が必要となる。また、焼却炉に多量の砂と塩分が混入するため炉を傷めやすいという意見もあり、焼却処分にも様々な問題がある。アオサの有効利用に関する研究も行われており、食品・工業原料・飼料・肥料・燃料・エネルギーとしての利用などが考えられているが（中西ら，2006），有効利用が難しく実用化や事業化には至っていないのが現状である。

このため、現状においてはグリーンタイドの特性や抑制に関する知見を集め、海藻の異常繁茂を制御する手法の確立が必要であると考えられる。本研究では各地でグリーンタイド構成種として報告されているアナアオサ（*Ulva pertusa*）とミナミアオサ（*Ulva ohnoi*）に注目し、大阪南港野鳥園北池の優占海藻の季節的消長とその卓越原因を明らかにし、グリーンタイドの軽減方法の探索に寄与することを目的として、現地調査と情報の少ないミナミアオサのストレス耐性実験を行った。

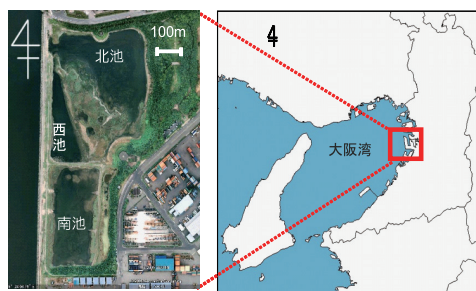


図-1 大阪南港野鳥園位置図

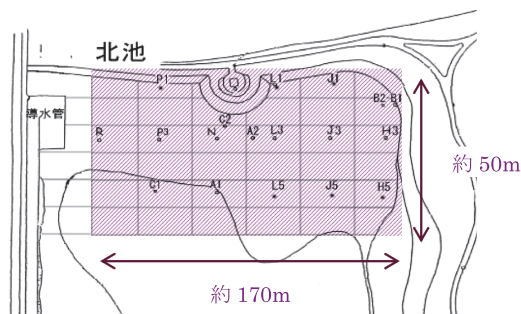


図-2 大阪南港野鳥園北池に設けた35区画（斜線部）

1 (修)工 大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻  
2 正会員 農博 大阪市立大学大学院工学研究科教授

## 2. 北池優占海藻の季節的な消長

本研究の調査地である大阪南港野鳥園（図-1）は、12.8haの塩性湿地と6.5haの緑地を有する、総面積19.3haの野鳥の飛来地である。シギ・チドリなどの多くの渡り鳥が餌場や休息の場として利用する大阪湾岸一帯でも重要な干潟であり、人工的に再生された湿地でありながら、環境省の「日本の重要湿地500」に選定されている。また、年間10万人以上の市民が憩いの場や自然観察の場として訪れており、市民を対象とした観察会や勉強会も盛んに行われている。しかし、園内の湿地部では一年を通してグリーンタイドが観察されており、野鳥の摂餌行動の阻害や底質の悪化に伴う餌生物の減少が懸念されている。野鳥園の北池では、NPO職員とボランティアらによる「アオサ取り」が毎年6月から7月にかけて定期的に実施されており（矢持ら、2007）、2006年には総勢360名により約18トンのアオサが除去されている。

### (1) 調査方法

野鳥園北池を縦6つ（約50m）・横6つ（約170m）に分割し、その内の35区画において海藻の分布と現存量を求めた（図-2）。目視による現存量調査は2009年5月27日、7月22日、8月19日、9月30日、10月30日、12月9日、2010年1月20日、2月17日、3月31日、4月28日、5月26日、6月23日、7月14日、8月11日、9月22日の計15回行った。また、2009年6月24日、9月30日、12月9日、2010年3月31日、6月23日には12地点において海藻湿重量の測定を行った。

目視調査においては、北池内の進入可能な範囲をくまなく歩き回り、各格子の海藻被覆度（%）を目視により評価した。同時に、各格子内に出現した海藻を査定し、種名や海藻の重なり状態を記録した。被覆度は、堆積物上に全く海藻が認められない状態を0%、堆積物上全体にわたり海藻が1層で覆っている状態を100%、堆積物上全体を2層にわたり海藻が覆っている状態を200%、堆積物上全体を3層にわたり海藻が覆っている状態を300%とした。また、目視評価時に、北池内の海藻被覆度の指標とする数地点を選定し、その地点において0.5m×0.5mの立体コドラート（採集面積0.25m<sup>2</sup>）内の海藻を採取した。試料は陸上に持ち帰った後、天秤を用いて湿重量を測定するとともに種の査定も行った。

北池全体における各月の海藻現存量は、目視調査で得られた海藻被覆度（%）と藻体重量の計測で得られた藻体湿重量（g-wet/m<sup>2</sup>）から推定した。

### (2) 結果と考察

図-3に代表例として2009年12月の海藻被覆度と現存量の関係を示す。図から判るように両者の間には明瞭な線形関係が見られ（ $R^2=0.98$ ）、目視による海藻被覆度から

大凡の海藻湿重量が推定できる。その他の調査月についても決定係数は2009年6月が0.98、9月が0.96、2010年3月が0.99、6月が0.94となり、海藻の被覆度と藻体湿重量の間には強い相関関係が認められた。そこで、2009年5月～7月は2009年6月、2009年8月～10月は2009年9月、2009年12月～2010年1月は2009年12月、2010年2月～4月は2010年3月、2010年5月～7月は2010年6月、2010年8月～9月は2009年9月の関係式を用い、各月の北池35区画における優占種別海藻現存量（g-wet/m<sup>2</sup>）を推定した（図-4）。

大阪南港野鳥園北池においては、初夏から秋にかけてはアナアオサ（*U.pertusa*）が優占し、秋から初春にかけてはミナミアオサ（*U.ohnoi*）が優占する傾向が見られた。アナアオサとミナミアオサがどちらも見られない春季は、紅藻やネダシグサ、その他の海藻が多く認められたが、そのほとんどが500g-wet/m<sup>2</sup>以下を示し、いずれもグリーンタイドを形成するほどの繁茂には至らなかった。アナアオサの若い藻体は、岩場だけでなく砂地の貝殻や小石に付着した状態でも生育することが知られているが（能登谷、1999）、北池南岸の砂地ではそのような若い藻体が数多く観察された。ミナミアオサは、海中に浮遊している藻体以外は観察されず、新たな藻体が芽吹いている様子は認められなかった。これはミナミアオサの成熟が限られた条件下でのみ起こる（岸田ら、2003）という不稔性の特性が影響していると考えられる。

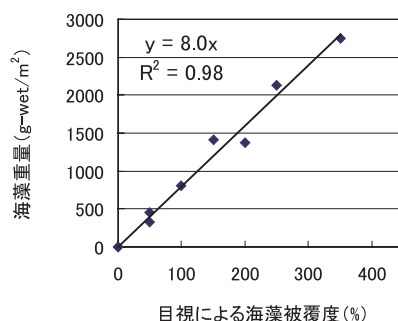


図-3 海藻被覆度と現存量の関係（2009年12月）

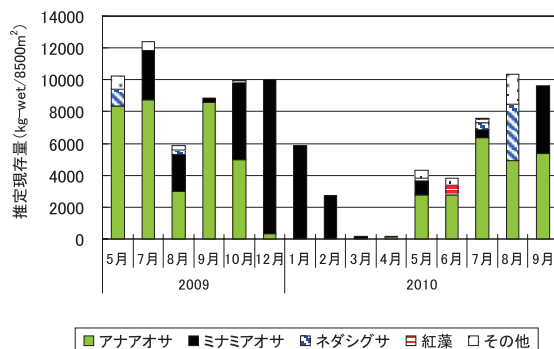


図-4 北池35区画における海藻の総現存量

北池35区画内(縦50m×横170m=8,500m<sup>2</sup>)における各月の海藻現存量の総量については、最も現存量が多かったのが、2009年7月の12,418kg-wet/8,500m<sup>2</sup>で、次いで2010年8月、2009年5月と続いた。一方で、最も少なかったのは2010年4月の174kg-wet/8,500m<sup>2</sup>で、次いで同年3月、2月と続いた。2006年6月から7月に実施された大阪南港野鳥園北池におけるアオサ取りでは、約18,000kg-wetのアオサが除去されたとされている。年により夏季の海藻現存量に変動はあるが、本研究で得られた海藻現存量推定値は、この除去量よりやや少ない値を示した。アナアオサが最も多かったのは、2009年7月の8,754kg-wet/8,500m<sup>2</sup>で、2010年1月から3月には観察されなかった。ミナミアオサが最も多かったのは、2009年12月の9,656kg-wet/8,500m<sup>2</sup>で、2009年5月や2010年8月には観察されなかった。

北池における各月の海藻出現種数は、2010年5月と同年6月が6種と最も多く、これに対してミナミアオサが優占していた2010年1月・2月・3月は1種のみで最も種数が少なかった。アナアオサやミナミアオサが卓越してグリーンタイドを形成する夏から冬にかけては、北池内の海藻の種数が激減しており、アオサ類の大量繁茂が他の海藻の生育に少なからずとも影響を与えていることが示唆された。

### 3. ミナミアオサの低塩分および干出耐性

ミナミアオサの大増殖は、東京湾(Yabe *et al.* 2009)や博多湾(藤井ら, 2009)においても報告されており、大阪南港野鳥園北池のように秋から初春にかけて繁茂する事例が報告される一方で、ミナミアオサが全く見られない事例や、一年中繁茂し続ける事例も報告されている。しかし、ミナミアオサの生理応答に関する研究は未だに少なく、塩分の変化や干出といった環境ストレスに対する耐性についても不明な点が多い。そこで、ミナミアオサの低塩分や干出に対する耐性を明らかにするための室内実験を行った。

#### (1) 実験方法

##### a) 供試藻体の採取日、実験温度・塩分・干出時間

表-1に供試藻体の採取日、実験温度および塩分を示す。大阪南港野鳥園においてミナミアオサの繁茂は秋から初春にかけて観察されたことから、温度条件は15℃・25℃・35℃の3段階とした。また、干出時間は0, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 18, 24時間の11段階・塩分条件は15psu・20psu・30psuの3段階を設け、これらを組み合わせた条件下における藻体の純光合成速度を測定した。なお、採取した藻体は、実験開始まで恒温室内において濾過海水で予備飼育し、6日以内に供試した。

表-1 供試海藻の採取年月日、実験温度と塩分

| 採取年月日      | 温度と塩分                  |
|------------|------------------------|
| 2009.12.09 | 25℃・30psu              |
| 2010.05.26 | 25℃・0-30psu            |
| 2010.06.23 | 25℃・20psu              |
| 2010.09.22 | 25℃・15psu              |
| 2010.11.08 | 35℃・30psu, 35℃・20psu   |
| 2010.11.17 | 35℃・0-30psu, 35℃・15psu |
| 2010.11.24 | 15℃・0-30psu            |
| 2010.12.22 | 15℃・30psu              |
| 2011.01.12 | 15℃・15psu, 15℃・20psu   |

#### b) 光合成速度の測定

実験にはガラス繊維濾紙(Whatman GF/F, 孔径0.7μm)で濾過した海水を用いた。これを蒸留水で目的の塩分に希釈し、窒素(NaNO<sub>3</sub>)、リン(K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>)、微量元素混液(P11Metal)を補強した。また、試験海水はpH8.0からpH8.2に調整後、小型高圧蒸気滅菌機(ヤマト科学製, SP300型)を用いて121℃で5分間加圧滅菌した。アオサは表面の付着物を落とし、濾過海水で洗浄した後1cm×1cmに切り、馴致のため実験水温と塩分に浸漬し、弱光条件下(約1.0μmol/m<sup>2</sup>/s)で12時間弱く通気した。塩分耐性実験では、藻体を入れた海水の塩分を1時間に5psuずつ低下させ、実験塩分で12時間馴致した。また、干出耐性実験では、光合成速度の測定に先立ち、馴致後の藻体を高湿度条件(90%以上)の容器に移し、暗条件のもと実験温度で0-24時間保管した。その後、100mlフラスコ5本にそれぞれ1片の藻体を入れ、酸素濃度を溶存酸素計(東亜ディーケーケー製, DO-24P型)により測定した。そして、人工気象器(日本医科器械製, LH-55-RDS型, 光量子束密度: 約100μmol/m<sup>2</sup>/s)内で6時間保管し、海水の酸素濃度を計測した。なお、実験終了時には藻体の湿重量を測定した。本実験では培養前後の溶存酸素濃度の変化量より、単位重量あたりの光合成活性を評価した(式1)。

$$P = \frac{C_t - C_0}{t} \times \frac{V}{W} \dots\dots\dots (1)$$

$P$ : 藻類の光合成速度 [mgO<sub>2</sub>/g-wet/h]

$C_t$ : 培養後のフラスコ内の溶存酸素濃度 [mgO<sub>2</sub>/ℓ]

$C_0$ : 培養前のフラスコ内の溶存酸素濃度 [mgO<sub>2</sub>/ℓ],  $t$ : 培養時間 [h]

$V$ : フラスコ容量 [ℓ],  $W$ : 培養に用いた藻体の湿重量 [g-wet]

#### (2) 結果

##### a) 低塩分耐性

図-5にミナミアオサの光合成速度と塩分の関係を示す。最も光合成速度が高かったのは35℃・30psuで

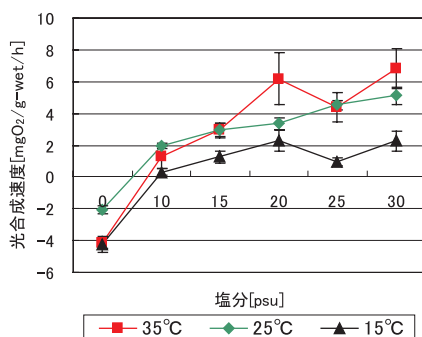


図-5 ミナミアオサの光合成速度と塩分の関係  
図中のバーは標準偏差を示す (n=5)

6.83mgO<sub>2</sub>/g-wet/hの値を示した。また、同じ塩分では15℃に比べて25℃と35℃において光合成速度が高くなった。その他、15℃・25℃・35℃のいずれの温度においても、塩分が10-15psuになると光合成速度が著しく減少した。塩分0では、分解および呼吸が卓越し、光合成速度は負の値を示した。

#### b) 干出耐性

図-6にミナミアオサの光合成速度と干出時間の関係を示す。35℃では、30psuにおける光合成速度が7.2mgO<sub>2</sub>/g-wet/hと高い値を示した。また、10時間目までは比較的高い光合成速度を維持した。しかしながら、35℃・20psuおよび35℃・15psuでは、30psuに比べ0-12時間の範囲において光合成の阻害される現象が見られた。これらのことから、35℃では低塩分と干出が藻体の光合成能に与える影響が大きいことがわかった。25℃では、15・20・30psuそれぞれにおいて、0-18時間の範囲で干出時間の増加に伴う光合成速度の変化が明瞭に認められなかった (15psu: 1.45-3.26mgO<sub>2</sub>/g-wet/h, 20psu: 1.88-2.95mgO<sub>2</sub>/g-wet/h, 30psu: 4.43-3.63mgO<sub>2</sub>/g-wet/h)。15℃の単位重量あたりの光合成速度は、30psuの4時間目と8時間目以降、および20psuの24時間目を除き、干出時間の

増加による光合成の減衰が見られなかった。これらのことから、15℃と25℃では光合成に与える干出の影響は35℃よりも少ないことが判った。

#### 4. 総合考察

大阪南港野鳥園北池において、ミナミアオサは7月から繁茂を始め12月・1月以降減少に転じ、アナアオサは5月から繁茂を始め10月まで残存した。Ohno (1988) は、高知においてミナミアオサは8月下旬から繁茂を始めて11月以降は減少に転じ、アナアオサは4月から6月に繁茂を始め、10月までに姿を消すとしており、概ね類似の季節的変遷が観測されたといえる。

室内実験から、ミナミアオサは35℃・30psu (夏季) の環境において光合成速度が高いが、値のばらつきの大きいかいことがわかった。また、35℃・20psuおよび35℃・15psuでは、35℃・30psuに比べ光合成の阻害される傾向が認められた。大阪南港野鳥園北池においてミナミアオサと競合しているアナアオサは、35℃・25℃・20℃のいずれの温度条件下においても干出の影響を受けて光合成速度が低下するため (西川ら, 2009) 干出に関してミナミアオサよりも劣勢であるといえる。しかし、35℃の条件下においてはミナミアオサも低塩分や干出の影響を受け易く、他の温度と比較してアナアオサとミナミアオサの光合成能が同等になり易い環境であると推察される。ミナミアオサが通年グリーンタイドを形成する海域もある中で、大阪南港野鳥園においてアナアオサが夏季に優占する最大の要因を本研究では十分に解明し得なかったが、南方系の種であると言われるミナミアオサが夏季に繁茂できずにいる要因は、同じ藻体であっても藻体内での部位や、藻体片の生理状態、わずかな環境の違いにより光合成速度が大きく変化することなど、35℃における光合成活性の不安定さに一因すると推察される。このように35℃の条件下では、ミナミアオサ・アナアオサともに低塩分と干出の影響を受け易いことから、

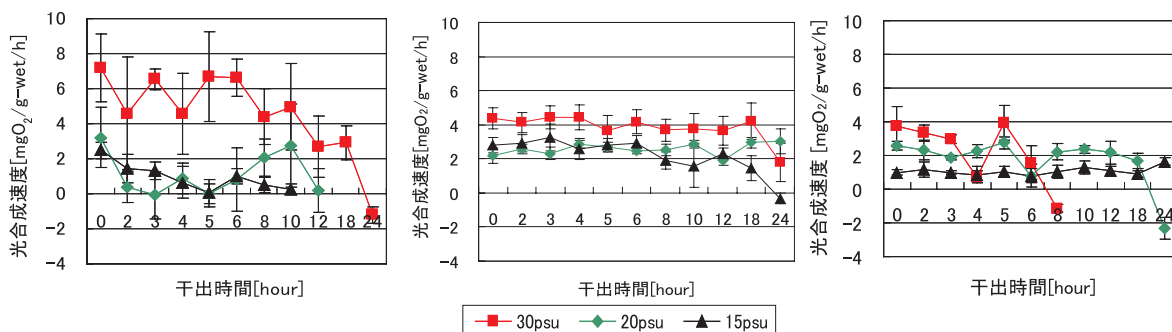


図-6 ミナミアオサの光合成速度と干出時間の関係 左35℃, 中央25℃, 右15℃  
図中のバーは標準偏差を示す (n=5)



夏季に塩分を20psu程度まで低下させることで、両者が優占する濃密なグリーンタイドは形成され難くなると考えられる。

岸田ら(2003)は30psu程度の海水塩分では不稔性アオサの性成熟は起こり難く、むしろ過酷と思われる低塩分・高塩分で成熟し、15-25℃の範囲においては、低水温側では高塩分で、高水温側では低塩分でそれぞれ性成熟が起こる傾向が見られたと述べている。このため、秋季から冬季にかけては塩分を15psu程度に維持し、さらに干出を行うことがミナミアオサによるグリーンタイドを軽減する上で有効であると考えられる。また、Kuwaieら(2008)によると、干潟に飛来するシギ類は干潟底泥表面に発達するバイオフィームを主食としているが、一見(2004)は干潟に生育する主な底生微細藻類である附着珪藻が塩分の変動に強い耐性を持ち、数psu-40psuといった塩分域ではその増殖に負の影響がほとんど見られないと述べていることから、短期間の塩分の低下ではバイオフィームを構成する底生微細藻類に大きな影響が及ばないと推察される。一方、柳川(2005)は南港野鳥園北池に生息する底生動物の72時間低塩分耐性実験を行い、イソガニなどの主要な大型生物は、塩分が約20psuとなる環境でも短期的には生存率に大きな影響は受けないと報告していることから、これらの生物は塩分を一時的に低下させても影響は少ないと考えられる。ミナミアオサが大量繁殖する北池奥部は、グリーンタイド形成時に生物相が大きく劣化し、無生物化することも多いため、この地域に集中して干出と低塩分化を行うことで、鳥類のエサとなる生物に与える影響を少なくして、グリーンタイドを軽減できるかも知れない。

## 5. 結論

大阪南港野鳥園北池において、グリーンタイド形成緑藻は季節的に交代し、初夏から秋にかけてはアナアオサが、秋から初春にかけてはミナミアオサがそれぞれ優占する傾向が見られた。アナアオサの研究結果も含めて考察すると、35℃ではミナミアオサ・アナアオサともに低塩分と干出の影響を受け易いため、夏季は塩分を15-20psu程度まで低下させ、3-5時間干出させることで、両者のいずれかが優占するグリーンタイドは抑制されると考えられる。

**謝辞**：本研究の一部は平成22年度科学研究費補助金基盤研究A「海産バイオマス利用による死の海再生の実証研究」(研究代表者：大塚耕司)により実施した。また、野外調査に際してはNPO法人「南港ウェットランドグループ」のご支援を賜った。ここに記して深謝する。

## 参考文献

- 敦賀花人, 新田忠雄 (1957): 海藻の生理化学的研究 I 温度変化, 干出が同化, 呼吸作用に及ぼす影響について, 内海区水産研究所業績, 第59巻, pp. 37-41.
- 大塚耕司 (2006): アオサの大量発生と対策の現状, 日本船舶海洋工学会講演集論文集, 第2K号, pp. 95-98.
- 岸田智穂, 馬場将輔 (2003): 不稔性アオサの成長と成熟に及ぼす温度, 塩分, 光強度の複合影響, 海生研報5, pp. 21-26.
- 中西 敬・吉野 茜・柴田好範 (2006): 循環型社会の実現を目指した蒲郡市におけるアオサ有効利用システム, 日本船舶海洋工学会講演集論文集 第2K号, pp. 119-122.
- 西川智貴・武田尚大・矢持 進 (2009): 人工干潟や塩性湿地で大発生するグリーンタイドの抑制に関する検討, 土木学会論文集, B2-65, pp. 1221-1225.
- 能登谷正浩 (1999): アオサの利用と環境修復, 成山堂書店, pp. 1-171.
- 一見和彦 (2004): 干潟域の附着珪藻の増殖生理, 日本水産学会誌, 第70巻, pp. 792-793.
- 藤井暁彦, 道山晶子, 横山佳裕, 関根雅彦 (2009): アサリ資源の保全のための効率的なアオサ回収方法の検証, 日本水環境学会誌, 第32巻, pp. 273-285.
- 柳川竜一 (2005): 大都市河口域に位置する人工塩性湿地生態系の生物生息・水質浄化・物質循環機能に関する研究, 大阪市立大学大学院工学研究科博士論文, pp. 1-140.
- 矢持 進・神保幸代・武田尚大 (2007): 都市型塩性湿地生態系における緑藻類の分布と変遷について, 海岸工学論文集, 第54巻, pp. 1186-1190.
- Kuwaie T., P. G. Beninger, P. Decottignies, K. J. Mathot, D. R. Lund and R. W. Elner (2008): Biofilm grazing in a higher vertebrate: The western sandpiper, *Calidris mauri*, Ecology, 89, pp. 599-606.
- Ohno, M. (1988): Seasonal changes of the growth of green algae, *Ulva* sp. in Tosa Bay, Southern Japan, Marine Fouling, 7(1/2), pp. 13-17.
- Hiraoka, M., S. Shimada, M. Uenosono and M. Masuda (2003): A new green-tide forming alga, *Ulva ohnoi* Hiraoka et Shimada sp. nov. (Ulvales, Ulvophyceae) from Japan, Phycological Research, 51, pp. 17-29.
- Yabe, T., Y. Ishida, Y. Amano, T. Koga, S. Hayashi, S. Nohara and H. Tatsumoto (2009): Green tide formed by free-floating *Ulva* spp. at Yatsu tidal flat, Japan, Limnology, 10, pp. 239-245.