

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

Prevention of Outbreaks of Green Tide occurring on the Artificial Tidal Flat and Salt Marsh

西川智貴¹・武田尚大²・矢持 進³

Tomoki NISHIKAWA, Shota TAKEDA and Susumu YAMOCHI

Field surveys and indoor experiments were conducted to prevent the outbreak of green tide by *Ulva pertusa* at Osaka Nanko Bird Sanctuary. Reduction of biomass of *Ulva pertusa* was observed at stations where exposure rate to the air was from 30 to 40%. In addition, the exposure rate of 30 to 40% to the air showed no negative impacts on the benthic microalgae and macro-benthic animals. Laboratory experiments revealed that photosynthesis activity of *Ulva pertusa* decreased when exposed to air for 4 to 7 hours at 25- 35 °C. Salinity decrease from 30 to 25 or 20 psu in accompanied with exposure to the air drastically inhibited the photosynthesis of this species. These results suggest the possibility of controlling a green tide of *Ulva pertusa* without any damage to benthic microalgae and macro-benthic animals by a combination of ground level and low salinity.

1. はじめに

干潟や浅場は陸域と海域のエコトーンとして多様な生態系を形成する重要な空間である（中村ら，2007）．しかし，1980年代の経済成長を機に，都市開発や工場立地によって多くの干潟や浅場が埋め立てられ，その面積が著しく減少した．しかし，干潟は生物生産機能，水質浄化機能，生物保育機能に加え，景観形成や親水機能など「生態系サービス」機能に優れていることからその価値が見直され，現在，人工干潟や湿地の創出が積極的に行われている．また，過去に損なわれた生態系や自然環境を取り戻すことを目的とする自然再生推進法が2003年に施行され，生態系の保全と再生に対する法律的位置づけが明確になった．ただ，人工干潟や湿地にはいくつかの技術的課題がある．生物の生息や物質循環のための十分な規模を確保しにくいこと，出現生物の多様性や水質浄化機能の恒常性などで自然干潟より劣ること，自律安定性に欠けメンテナンスを必要とすること，さらに富栄養化による「グリーンタイド」の発生などである．

「グリーンタイド」は富栄養な干潟や浅海域に主としてアオサ類などの緑藻が大発生する現象で，北京オリンピックのヨットレース会場における藻類の大量発生によるトラブルなど，世界共通の悩ましい水域環境問題として知られている．グリーンタイドが発生すると，海藻が海底面を覆うことにより底質が還元化し，小型底生動物が激減するのに加え，藻体が海岸に打ち上げられ景観を害し，また腐敗して臭気を発生するなどの問題が起こる．

現在のところ，グリーンタイドの被害軽減には人力などによる除去以外に方法がない．本研究では，アオサ類によるグリーンタイドが発生する高水温期の大阪南港野鳥園湿地北池を対象に，4年間の現地観測とグリーンタイド形成藻の塩分ならびに温度別干出耐性実験の結果から，潮間帯においてグリーンタイドを軽減・抑制する方法について検討した．なお，富栄養な浅場や干潟で大発生するアオサについては，不稔性アオサとアナアオサ（*Ulva pertusa*）などが混在する可能性がある．ここでは，Hiraokaら（2003）が不稔性アオサの分類学上の位置づけを明確にしたことから，アナアオサが優占するものの，複数種のアオサが混じる野外観測結果ではアオサ類とし，室内培養実験では形態などを確認したアナアオサを用いた．

2. 大阪南港野鳥園湿地の概要

大阪南港野鳥園は1983年に大阪南港咲州の西端に開園された（図-1）．園内には北池（4.0ha），西池（1.4ha），南池（3.8ha）と呼ばれる3つの池とヨシ原が存在する．3つの池のうち，西池は開園当初より海水池であり，北

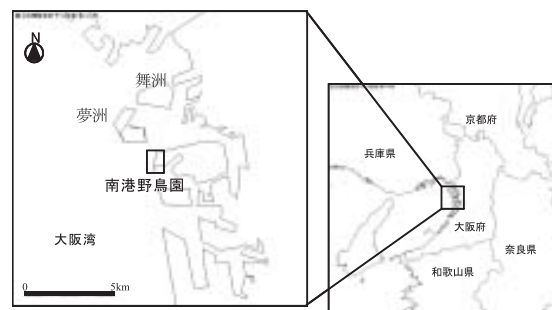


図-1 大阪南港野鳥園の位置

1	工修	堺市
2	工修	（株）日水コン
3	正会員	農博 大阪市立大学教授大学院工学研究科都市系専攻

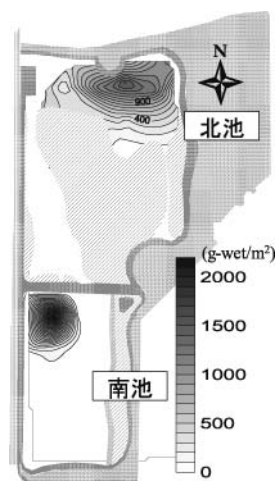


図-2 2007年9月のアオサ類湿重量の分布

池および南池は当初、雨水が溜まった淡水～汽水池であった。その後、北池では1995年、南池では2004年に隣接する大阪湾からの海水を導入するため、護岸の一部に導水管が敷設され、海水池となった。しかし、この海水導入を追うように、北池では1995年から、南池では2005年初春よりグリーンタイドが発生している。また、北池と南池では大量発生している海藻の種類が違い、南池ではジュズモ属の一種が、北池では図-2に示すようにアオサ類によるグリーンタイドが発生している。本研究ではアオサ類によるグリーンタイドが発生している北池について検討を行った。

3. 干出とアオサ類、底生微細藻類、小型底生動物の動態（現地観測）

横浜（1986）は、干出が海藻の光合成などの生活機能を阻害し、生長の制限要因であるとしている。また、桑江ら（2004）は隔離実験生態系（メソコスム）において干出時間の底生動物への影響を検討しており、干出時間が長くなると、小型底生動物の個体数が減少している。したがって、干出は海藻だけでなく、そこに生息する他の生物に対しても悪影響を与える可能性がある。そのため、現地調査の結果から底生微細藻類量、小型底生動物個体数と干出の関係について検討した。

(1) 調査・分析方法

a) アオサ類の現存量

図-3に示す13地点において、一辺0.5mのコドラート内（採取面積：0.25m²）の海藻を採取し、水分を切った後、アオサ類の湿重量を測定した。

b) 底生微細藻類現存量

図-3の9地点で、アクリル製小型コアサンプラー（直径約2cm）を用いて堆積物表面から0.5cm層までを取り、

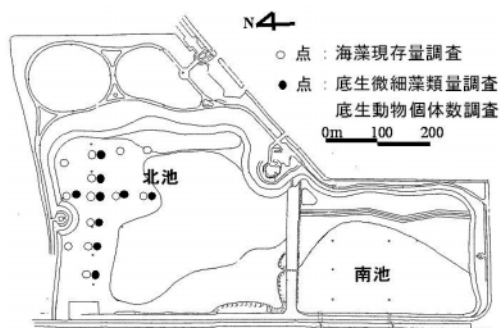


図-3 調査地点図

底生微細藻類現存量の指標となる堆積物のクロロフィルa量を蛍光法により求めた。

c) 小型底生動物個体数

図-3に示す9地点において小型採泥器（採取面積：0.0225m²）で2回堆積物の採取を行い、1mm目のふるいにかけて後、ふるい上に残った残渣物をすべて布袋に入れ、10%中性ホルマリン液で固定した。実験室に持ち帰った試料はソーティング後、種の査定を行い、各分類群の個体数を測定した。

なお、グリーンタイドは水温が高くなる夏季に顕著なことから、2007年6月27日、9月5日、9月12日、2008年7月11日、9月10日に現地調査を行い、また、柳川（2005）および神保（2007）が本湿地で行った調査結果（2002年7月31日、2006年7月25日、8月22日）をも合わせて解析した。また、干出率は2008年7月2日～16日の14日間に干潟底面が干出した時間の全時間（336時間）に対する百分率のことで、基準点における水位計（Star-Oddi社製DST milli）の測定値と各地点の地盤高から各地点の干出率を算出した。

(2) 結果

北池における調査地点の干出率を5%刻みで区分し、各干出率帯に属す地点の平均アオサ現存量、平均底生微細藻類量と干出率の関係を図-4に示した。また、平均アオサ類現存量、平均小型底生動物個体数と干出率の関係を図-5に示した。

北池においてアオサ類は、干出率が0～30%の範囲では500～1,500g-wet/m²程度の現存量で推移したが、40%以上になると現存量は急激に減少した。このことから干出率30～40%にアオサの生長を阻害する干出条件が存在する可能性が示唆された。一方、底生微細藻類は0～60%の範囲で干出率が変化しても、100～250mg chl.a/m²の現存量を示した。また、干出率0～40%の範囲と比べ、40%以上で底生微細藻類現存量が大きくなる傾向が見られた。この原因として、底生微細藻類自体の干出耐性と、干出率が高くなるとアオサ類が少なくなりアオサ類に光

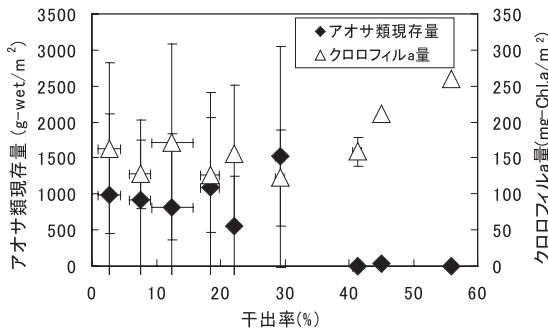


図-4 干出率とアオサ類現存量および底生微細藻類量の関係

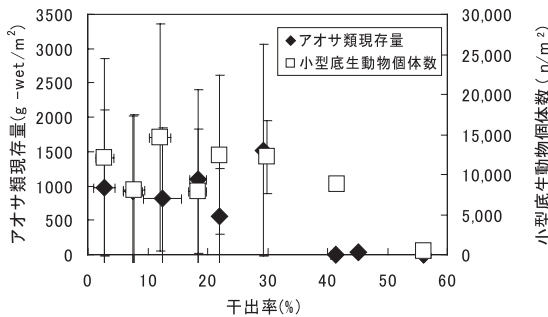


図-5 干出率とアオサ類現存量および小型底生動物個体数の関係

を遮断されることなく底生微細藻類の生育が可能となったため増加したと考えられる。小型底生動物個体数は、干出率0～40%の範囲においては、平均10898n/m² (0～39867n/m²) の値であり、この干出率の範囲内であれば干出による影響を強く受けず生息が可能であることが分かった。しかし、干出率56%になると個体数はほぼ0n/m²にまで減少することから、40～56%に小型底生動物の生息を抑制する干出条件が存在すると考えられる。

4. 温度別のアナアオサの干出耐性 (室内実験)

南港野鳥園北池のアナアオサの干出耐性については矢持ら (2007) において報告した。ただ、干出耐性については、供試した藻体の活性が充分でなく、結果誤認の可能性が推察された。そこで再度、詳細な室内実験を実施した。

(1) 実験方法

現地において採取したアナアオサを1辺1cm (約0.01g) にカットした後、馴致のため濾過海水に浸漬し、極弱くエアレーションをしながら弱光条件下 (約1.0 μmol/m²/s) で12時間静置した。その後、藻体を実験温度 (25, 30, 35℃) と高湿度 (90%以上) の暗条件の容器内に一定時間 (0, 5, 10, 15, 30, 60分間または2～12時間) 保

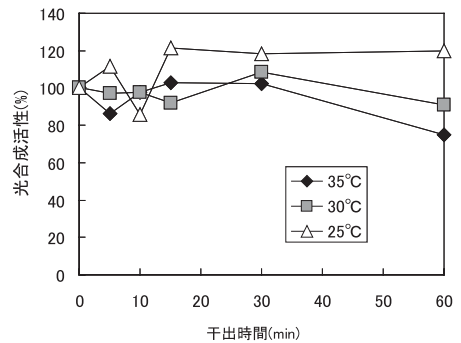


図-6 0-60分間干出させた時の温度別のアナアオサの光合成活性

管した。光合成速度の測定に関しては、透明フランビン (容量102ml) に栄養物質補強海水を満たし、溶存酸素計 (東亜ディーケーケー製、DO-24P型) で溶存酸素濃度を測定したのち藻体を注入した。その後、人工気象器 (日本医科器械製、LH-55-RDS型) にて明条件 (約100 μmol/m²/s) で、6時間培養した後、再度フランビン内の溶存酸素濃度を測定し、式 (1) より、単位重量あたりの純光合成速度を求めた。なお、使用した馴致用濾過海水や実験海水の塩分は大阪南港野鳥園の塩分に近い30psuに調整した。

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

P : 藻類の純光合成速度 (mgO₂/g-wet/h)

C_0 : 培養前のフランビン内の溶存酸素濃度 (mgO₂/ℓ)

C_t : 培養後のフランビン内の溶存酸素濃度 (mgO₂/ℓ)

t : 培養時間 (h)

V : フランビン容量 (ℓ)

W : 培養に用いた藻体の湿重量 (g-wet)

(2) 結果

図-6に0～60分間干出させた場合のアナアオサの光合成活性を示した。図は干出時間0分の時の純光合成速度を100として表している。図から、干出時間60分では光合成活性は25℃で119%、30℃で91%、35℃で75%と、大きな低下が見られず、1時間の干出ではアナアオサの活性に著しい影響のないことが分かった。

図-7に干出時間2～12時間の場合のアナアオサの光合成活性を示した。25℃においては、0～6時間の範囲で干出時間が長くなるに伴い光合成活性がやや低下する傾向が見られるものの、6時間の干出でも約80%の光合成活性を示した。しかし、干出時間7時間以上では大きく光合成機能が低下し、40%以下となった。一方、30℃や35℃では、干出時間が長くなるにつれて光合成活性が25℃より早く減少し、30℃では2時間で活性が1/2以下に、

35℃では5時間で37%まで低下した。今、光合成活性が干出なしの時の1/2以下に減少する時間を見ると、25℃で7時間、30℃では2時間、35℃では5時間となっている。ただ、30℃では4時間で光合成活性が大きく低下したことから、25～35℃ではアナアオサの活性が4時間から7時間の干出により低下することが示唆された。

5. 塩分ならびに温度別のアナアオサの干出耐性 (室内実験)

矢持ら (2007) は、図-8に示すようにアナアオサは塩分が低下すると生理的ストレスを受け、10-15psu以下では光合成活性が大きく抑制されると報告している。このことから、温度・塩分と干出時間の組み合わせを変化させてアナアオサの光合成活性を調べた。

(1) 実験方法

実験方法は4.の方法とほぼ同様であるが、藻体の塩分馴致として、1cm四方に切断した藻体を極弱くエアレーションした濾過海水 (塩分30psu) に加え、蒸留水を用いて1時間に5psuずつ段階的に塩分を低下させ、各供試塩分で12時間以上馴致した。試験した塩分は20・25・30psu、温度は25・30・35℃で、それぞれの組み合わせについて光合成活性を測定した。

(2) 結果

温度・塩分・干出時間を変化させた時のアナアオサの純光合成活性を図-9から図-11に示す。25℃の場合、塩分30psuでは干出6時間まで光合成活性は大きく低下しなかった。塩分25psuでは干出0時間から2時間で光合成活性は100%から20%まで低下した。さらに、20psuでも干出2時間で光合成活性が非干出時の31%まで減少した。また、20・25psuとも5ないし6時間以降は呼吸による酸素消費が光合成による酸素生産を上回り、純生産は負の値となった。なお、30psuでは12時間経過しても光合成速度が0.24mgO₂/g-wet/hと、わずかではあるが純生産が見られた。このように、塩分低下により光合成の失活時間の短縮が認められた。

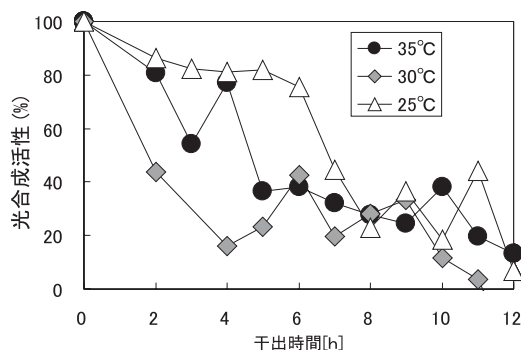


図-7 0-12時間干出させた時の温度別のアナアオサの光合成活性

30℃の場合は30・25・20psuともに急激に光合成活性が低下し、例えば30psuで2時間干出させた時の光合成は30psu・干出なしのその44%に、また25psu・2時間では同じく25psu・干出0時間の14%に、20psu・2時間では20psu・干出0時間の28%にそれぞれ光合成活性が低下した。なお、30℃・30psuでは干出11時間まで光合成による酸素生産が呼吸による消費を上回ったのに対し、25psuと20psuではそれぞれ干出5時間と3時間で純光合成がマイナスとなっており、30psuに比べ短い干出時間で活性の低下が始まっていた。

35℃では、光合成活性が非干出時の40%以下になるのが30psuで干出5時間、25psuで4時間、20psuで2時間というように、塩分が小さくなるにしたがって、光合成活性の低下する時間が25℃や30℃と同様に短くなった。なお、35℃・30psuでは干出12時間でも光合成による酸素生産が行われ、呼吸が生産を上回らなかったのに対し、25psuや20psuではそれぞれ干出8時間と5時間で値がマイナスとなっており、呼吸が生産を上回った。

これらの結果から、25～35℃の温度においては、塩分を30psuから25または20psuに低下させることで、干出による光合成活性の低下に要する時間を短縮できることが明らかになった。

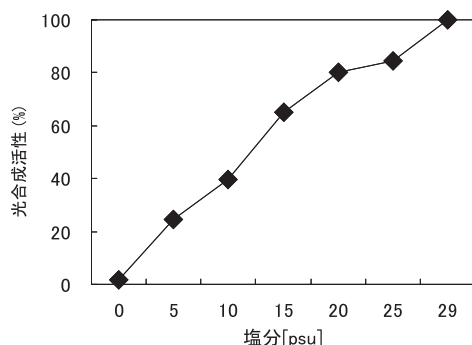


図-8 アナアオサの光合成活性と塩分の関係 (20℃)

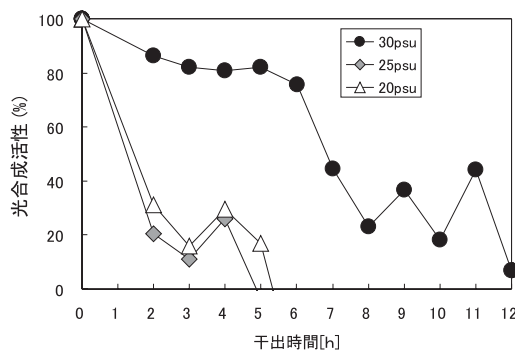


図-9 0-12時間干出させた時の塩分別のアナアオサの光合成活性 (25℃)

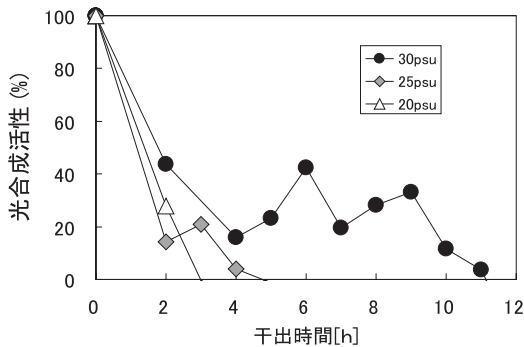


図-10 0-12時間干出させた時の塩分別のアナアオサの光合成活性 (30℃)

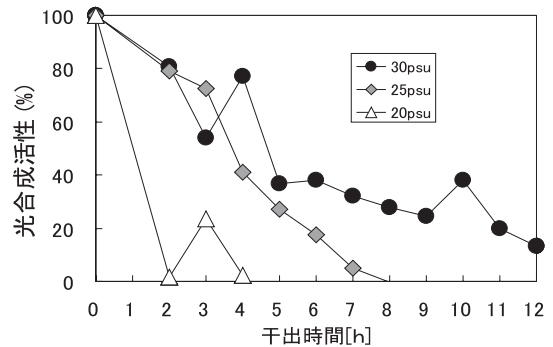


図-11 0-12時間干出させた時の塩分別のアナアオサの光合成活性 (35℃)

6. 考察

大阪南港野鳥園北池における現地調査の結果から、干出率30～40%の定点ではアオサ類の現存量が減少していた。この干出率30～40%を一潮汐での干出時間で表すと約3.5～5時間となる。また、2008年7月30日の12～16時に南港野鳥園北池で堆積物表面の温度を測定したところ、平均温度は33.4℃であった。この温度と現地塩分に近い35℃・30psuのケースで実験による干出耐性を見た場合（図-11）、5時間の干出によって光合成活性が低下しており、これは現地調査の結果と良く一致していた。藻類の光合成最適温度は生長の最適温度と必ずしも一致しないが（村瀬ら、1993）、この結果は大阪南港野鳥園において干出率30～40%程度の地盤高（D.L.+0.65～0.74mに相当）を設定することによってアナアオサの光合成を抑制し、グリーンタイドを軽減できることを示している。さらに、本調査において干出率40%では底生微細藻類や小型底生動物個体数への影響が小さいとの結果が得られた。高山ら（2005）は小型底生動物の個体数は地盤高がD.L.-2～+1mで増大するとしている。また、桑江（2005）はD.L.-0.3～+0.7mにおいて高密度の小型底生動物が観察されたとしている。アナアオサは大阪南港野鳥園北池の優占海藻であり、この藻類の生長を抑制することのできる干出率30～40%の地盤高を保持・増大することによってアオサ類の大量発生を抑制・軽減し、さらに小型底生動物の生息と底生微細藻類の生長を阻害せず、健全な物質循環を本塩性湿地において達成できると考えられる。

また、塩分を低下させることで、アナアオサの光合成活性の低下に要する時間が短くなったことから、淡水供給を施すことによって干出によるアオサ類の生長抑制効果が一層増加すると推察される。

7. 結論

潮間帯において底生微細藻類や小型底生動物の生息を阻害することなくグリーンタイドを抑制するには、干出率30～40%に相当する地盤高の設定が重要であり、さらに淡水供給を施すことによって効果が一層増加すると考えられた。

謝辞：本研究の多くは、平成20年度「大阪湾圏における海域環境の再生・創造に係わる研究助成」の支援を受け実施した。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 桑江朝比呂（2005）：造成された干潟生態系の発達過程と自律安定性，土木学会論文集，No.790，pp.25-34.
- 神保幸代（2007）：都市型塩性湿地生態系における物質収支と緑藻類の分布と変遷に関する研究，大阪市立大学大学院工学研究科修士論文，98p.
- 高山百合子・上野成三・湯浅城之（2005）：底生生物の出現特性から見た人工干潟の最適底質条件，大成建設技術センター報 No.38（8），pp.1-6.
- 中村 充・石川公敏（2007）：干潟造成法，恒社社厚生閣，pp.1-9.
- 能登谷正浩（1999）：アオサの利用と環境修復，成山堂書店，pp.16-47.
- 村瀬 昇・前川行幸・松井敏夫・大貝政治・片山舒康・斉藤宗勝・横浜康継（2003）：アナアオサの不稔性変異株の生長と光合成-温度特性，日本水産学会誌，60，pp.625-630.
- 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，大阪市立大学博士論文，140p.
- 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，54，pp.1186-1190.
- 横浜康継（1986）：海藻の分布と環境要因，藻類の生態，内田老鶴圃，pp.251-308.
- Hiraoka, M., S. Shimada, M. Uenosono, M. Masuda (2003): A new green-tide-forming alga, *Ulva ohnoi* Hiraoka et Shimada sp. nov. (Ulvales, Ulvophyceae) from Japan, Phycologia Research, 51, 17-2.