

# 大阪湾阪南2区人工干潟で大量発生する アオサの分布特性に関する研究

環境水域工学分野 酒井 大樹

## Abstract

干潟および砂浜では、グリーントイドと呼ばれる環境問題が発生している。グリーントイドは、緑藻類の一種であるアオサ (*Ulva*) が大量発生して起こる環境問題で、腐敗して悪臭を放ち、都市の水辺空間が持つ癒し効果を薄めると考えられている。干潟は水質浄化および生物の生息場として優れているため、人工造成が進められているが、干潟造成計画にグリーントイドの抑制は考慮されていない。本研究では、阪南2区人工干潟を対象に、アオサの分布特性について考察した。その結果、アオサの分布には潮溜まり、漥筋、平坦部などの地形と風および潮位変動に関係性がみられた。人工干潟造成を計画するに当たって、グリーントイドを抑制するには、アオサの発生時期を推測し、その時期の風や潮位変動も考慮して漥筋を造成する必要があることが示唆された。

## 1 研究背景

我々の生活は沿岸域に大きく依存しており、人口や産業も沿岸域に集中している。沿岸域は比較的水深が浅く、埋め立ての場として使用しやすい。そのため、高度経済成長期以降に沿岸域の干潟や砂浜は、都市開発や工場用地として埋め立てられた。大阪湾もその一つであった。また、大阪湾の湾奥部には、淀川、大和川などの大型河川が位置し、大量の栄養塩や懸濁物が流入する。かつては、大量の栄養塩や懸濁物は、干潟や砂浜の有する水質浄化機能によって浄化されていた。しかし、干潟や砂浜が減少した大阪湾の沿岸域はそれらの機能を失った。そのため、大阪湾湾奥の港湾域では過養化が問題となっている。そんな中、沿岸域の環境改善策として、近年では干潟の価値が重要視されるようになり、人工干潟造成事業が行われている。

大阪府岸和田沖の阪南2区において、人工干潟の造成<sup>1)</sup>が実施されており、この干潟では、安定性の検討や生物の定着に関する実験および検討が行われている<sup>2)3)</sup>。また、矢持ら<sup>4)5)</sup>は窒素固定の場として水質浄化機能に寄与していることを報告している。しかしながら、阪南2区人工干潟では、夏にアオサ類が大量発生するグリーントイドが問題となっている。阪南2区人工干潟におけるグリーントイドを図-1に示す。図中の白いものは、打ち上げられて数日間、太陽にさらされ脱色したアオサである。このアオサはいずれ腐敗するが、腐敗すると悪臭を放ち、干潟や砂浜が持つ癒し効果などを低下させる。干潟造成にあたって、人工干潟の地盤の安定性に関する検討や、生物の生息地として

の適性、人工干潟の水質浄化機能および生物生息機能については多くの研究結果が報告されている。また、グリーントイドに関して、アオサの生理特性を明らかにし、そこからグリーントイドの抑制法を考える研究は複数存在する<sup>6)7)</sup>が、地形、流れ等がアオサの分布に及ぼす影響については十分に検討されていない。

本研究では、癒し空間を取り戻すために、阪南2区人工干潟を対象として、地形や流れとアオサの分布との関係を明らかにし、アオサの大量蓄積を軽減させる人工干潟造成法について提案する。



(a) 大量繁茂したアオサ類



(b) 腐敗したアオサ類

図-1 阪南2区人工干潟に出現したグリーントイド

## 2 阪南2区人工干潟の地形特性

図-2に阪南2区人工干潟の位置を示す。図-3に調査場所である阪南2区人工干潟の南干潟を示す。干潟は、中仕切り堤で仕切られており、浅海域、干潟域、砂浜域で構成されている。地形特性の把握のために、深浅測量を干潟域で行った。

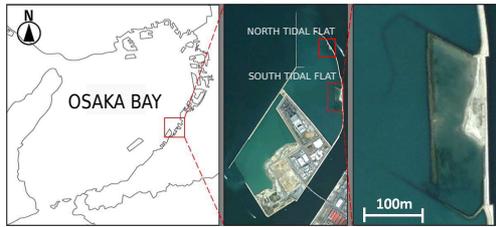


図-2 阪南2区人工干潟の位置

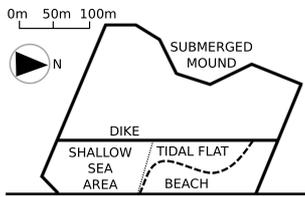


図-3 阪南2区人工干潟(南干潟)

## 2.1 深浅測量概要

2011年11月15日に深浅測量を行った。図-4(a)に深浅測量を行っている様子を示し、(b)に深浅測量の概略図、(c)に深浅測量での航跡を示す。深浅測量には、魚群探知機(LOWRANCE LCX/LMSシリーズ)を使用した。ゴムボートにエレクトリックモータと魚群探知機を装着して阪南2区人工干潟の干潟域を(c)に示すように走行した。使用した魚群探知機はGPS機能も有しており、走行しながら水深データを取得し、同時にその場の緯度経度の情報を取得することが可能である。取得した水深データは、観測基準面(D.L.)に換算した。

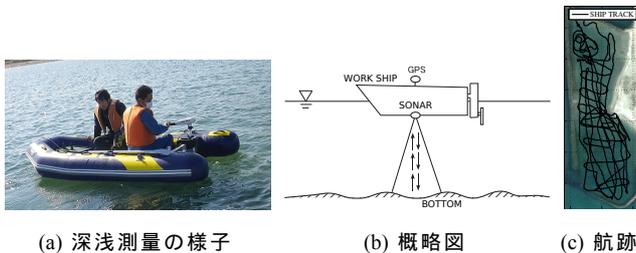


図-4 深浅測量概要

## 2.2 深浅測量結果

2011年11月15日の深浅測量結果を図-5に示す。(a)は地盤高をコンター図で表しており、(b)は地盤高を等高線で表している。(c)は深浅測量の結果から、特徴のある地形をエリア分けした図である。干潟域に注目すると、地盤高がD.L.+0.5m前後で周辺よりも0.2m~0.3m低くなっている場所が確認できる。この場所が、干潟域の潮溜まりとなっている。潮溜まりとは、干潮時でも海水が取り残される場所である。また、潮溜まりから東側の砂浜域にかけて地盤高が徐々に高くなって

るのが確認できる。潮溜まりから南方に、両横よりも地盤高の低くなっている水路が見られる。D.L.+1.0m前後で、この位置が透筋となって、干潟域の内と外を繋ぐ路となっており、海水の流入出する通路となっている。干潟の北東部にD.L.+1.1m程度で、コンターでは赤く示されているエリアが見られるが、この場所は平坦な潮間帯となっている。

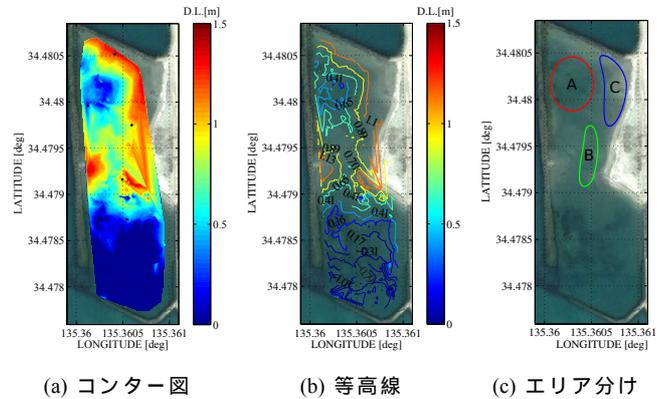


図-5 深浅測量結果((c)のAは潮溜まり、Bは透筋、Cは平坦部)

潮溜まり、透筋、平坦な潮間帯の詳細を明らかにするために、深浅測量の結果を三次元的に表現したものを図-6に示す。また、干潟域の地盤の勾配を明確にするために、北から南に向かって6本のラインを選定した。その場所を同図に示し、横断面図を図-7に示した。横断面図は、西側の中仕切り堤を基準としている。図-7より、干潟域はD.L.+0.5m前後の潮溜まりから広がるように地盤高が高くなっているのがわかる。透筋は凹型で、干潟域の内と外を繋ぐ路になっているのがよくわかる。また、北側と西側には中仕切り堤があり、東側は完全に閉ざされているため、干潟域への海水の流入出はこの透筋がメインと考えられる。干潟域の海水の流入出の要因は、主に潮汐による水位変動によるものである。水位変動によって干潟内と干潟外で水位差が生じるので、海水は水位差による流れによって透筋を通して干潟域へ流入出していると考えられる。中仕切り堤に近い西側では、斜面勾配が急になっており、東側の砂浜域に近づくほど斜面勾配は緩やかになっている。図-7より、ラインAの最深部が西から12、13m地点でD.L.+0.2mとなっている。また、約10m地点~約25m地点までが窪んだ地形となっているのがわかる。この場所が潮溜まりである。潮溜まりから東側はおおよそ一様勾配になっており、おおよそ1/30~1/40である。ラインBは、西から約5m~25m地点が潮溜まりの場所で、D.L.+0.2m~D.L.+0.4m程度である。約25m地点~約41m地点までは、勾配がおおよそ1/20~1/30で、それより東側では平坦部になっている。ラインCでは、23m地点でD.L.+0.8mで、その両横の17m

地点および27m地点はD.L.+0.6m前後で低くなっている。ラインDの約24m地点でD.L.+0.7mで凹型の地形が確認できる。ここが澇筋である。ラインEもラインDとおおよそ同地点に澇筋が確認できる。澇筋に関しては、幅や深さに定義が無いため、澇筋の範囲がどこまでなのかを判断することは難しいが、西から約20m地点と約27m地点で澇筋の法面勾配にやや変化が見られる。その範囲を澇筋とすると、幅が約7m、法面勾配が約1:25で地盤高が周りより約0.2m低くなっているところが澇筋である。ラインFは澇筋より数m南側のラインである。澇筋も消え、地盤高の低い場所が広がっている。ここより以南が浅海域となっている。

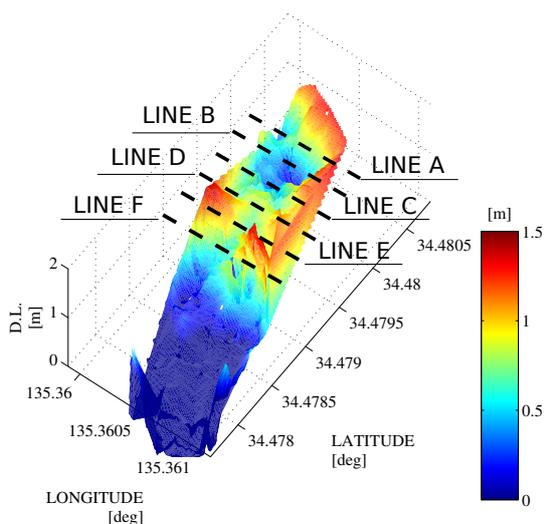


図-6 干潟域の地盤高および横断面図の位置

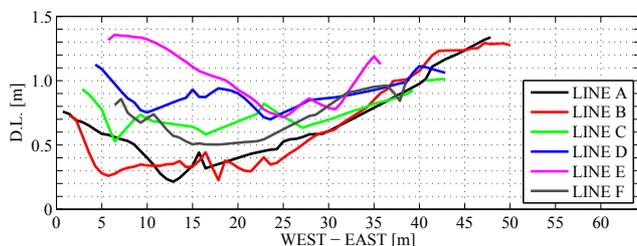


図-7 潮溜まり, 澇筋, 平坦部について

### 3 アオサの分布特性

アオサの分布特性を明らかにするために検討した項目を以下に示す。

- ・ アオサの現存量
- ・ 潮位変動と風向・風速
- ・ 干潟域および澇筋周辺の流向・流速

潮位に関しては、天文潮位からの予測値として気象庁ホームページで一般に公開されている岸和田の地点の値を使用した。現地の風向風速のデータには、大阪湾水質定点自動観測データ配信システムの阪南沖窪地のデータを使用した。

### 3.1 アオサの現存量調査

#### 3.1.1 調査概要

2011年7月15日, 8月29日, 9月27日にアオサの現存量調査を行った。調査地点は、図-8(a)に示す20点で、(b)に示しているコドラート(50cm × 50cm)を使用してアオサを採取した。採取したアオサは、ネットに入れ、約30分間放置しておおよそ水気が無くなった後に湿潤重量(g-wet)を計測した。各調査日の潮位変動および調査時刻を図-9に示す。なお、調査時刻は斜線で示してある。調査は、作業効率を考慮して干潮に行った。

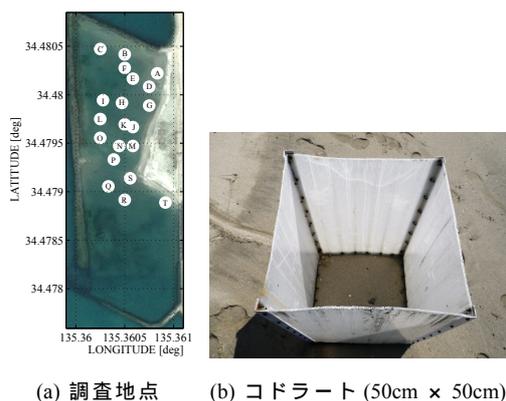


図-8 調査地点および調査道具

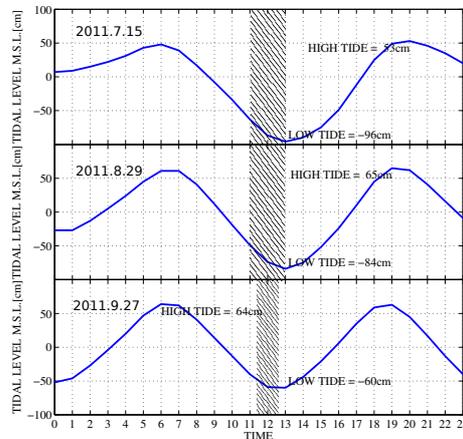
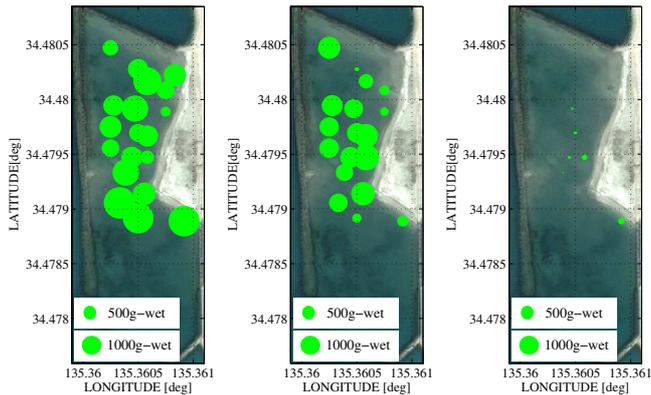


図-9 各調査日の潮位変動と調査時刻

#### 3.1.2 結果

図-10に各調査日のアオサ現存量(湿重量)の分布を示す。(a)より、7月15日は干潟域の北東部と干潟域の南側に多くのアオサが分布しているのがわかる。(b)より、8月29日は7月15日と比べて、干潟域の北部でアオサの現存量が少なく、干潟域の南部でも少なくなっている。(c)より、9月27日は全域においてアオサが減少しており、消失寸前の状況であった。7月15日と8月29日についてアオサの現存量を比較すると、7月15日の北東部は8月29日に比べて多くのアオサの堆

積が確認できる。また、干潟域の南部でも8月29日より7月15日の方が多くのアオサの堆積が確認できる。



(a) 2011年7月15日 (b) 2011年8月29日 (c) 2011年9月27日

図-10 アオサ現存量の水平分布

次に、各調査日で干潟域のどのエリアにアオサが多く分布しているのかを考察した。ここでは、干潟域のみを検討するために澁筋以南の地点P,Q,R,S,Tは除いている。エリアは、干潟域の北部から順番に3地点ずつで分けており、エリア1からエリア5に向かうにつれて澁筋に近づくように決定した。次に、式1でアオサ現存量比を定義する。

$$\text{現存量比} = \frac{\text{各エリアのアオサ現存量}}{\sum (\text{ポイントA~Oのアオサ現存量})} \quad (1)$$

この現存量比は、干潟域の全調査地点のアオサ現存量の何割のアオサが干潟域の各エリアに分布しているのかを評価するための指標として定義した。式1を用いて整理した結果を図-11に示す。9月27日に関しては、アオサがほとんど消失していたので、ここでは除いている。図-11より、7月15日に関してはエリア2が一番割合が大きい。8月29日に関しては、エリア2からエリア5にかけて割合が増加している。これは、干潟域の北部から澁筋にかけてアオサが分布している割合が増加していることを意味する。

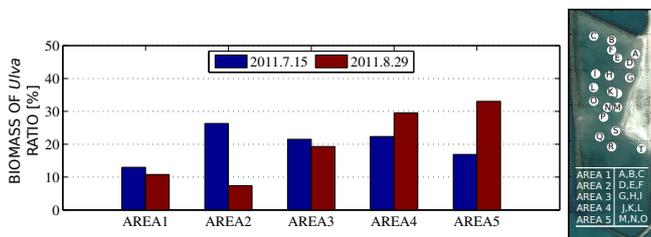
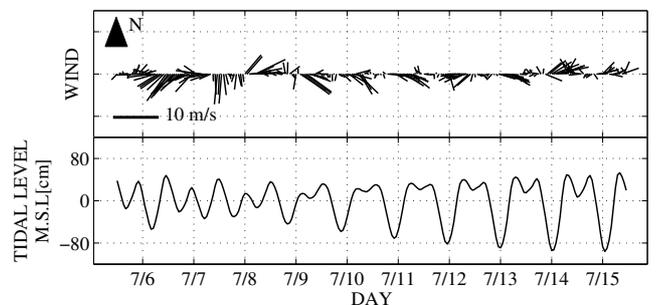


図-11 各エリアのアオサ現存量比

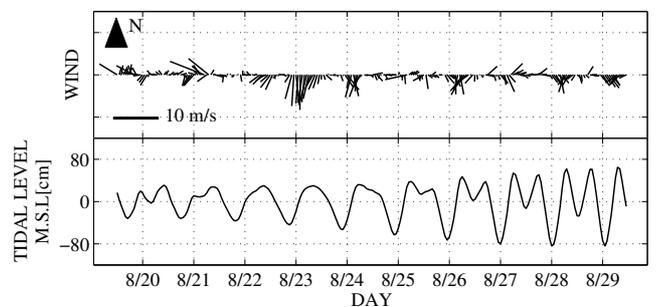
### 3.2 潮位変動および風による影響

アオサの現存量調査の結果より、干潟域の北部および澁筋付近でアオサの現存量に特徴的な違いが見られ

た。そのことから、潮位変動および風がアオサ現存量に及ぼす影響について考察を行った。図-12(a)に2011年7月6日~7月15日の風向・風速および潮位変動を、(b)に2011年8月20日~8月29日の風向・風速および潮位変動を示す。(a)より、アオサの現存量調査を行ったのが7月15日であるが、7月13日まで南風が卓越しているのがわかる。また、7月6日の23時には満潮時に潮位がM.S.L.+48cmで、その時の風向風速が南西の風で7.8m/sであった。そのため、潮位が高い時に南西からの風が作用してアオサが干潟北東部の平坦な潮間帯に打ち上げられたのではないかと考えられる。(b)より、潮位変動に関して、8月29日の調査直前は下げ潮である。下げ潮時には、干潟域から澁筋を通して外に流出する流れが発生すると考えられる。またこの日は、大潮のため潮位変動幅は149cmと大きい。そのため、干潟域でも比較的澁筋に近い位置にアオサが集まってくるように堆積したのではないかと考えられる。



(a) 2011年7月6日~15日



(b) 2011年8月20日~29日

図-12 調査数日前からの風速と潮位について

### 3.3 干潟域の流向と流速

#### 3.3.1 調査概要

干潟域および深浅測量で確認された澁筋付近の流向・流速を明らかにするために流向流速計(JFEアドバンテック社製、COMPACT-EM型)を2地点に設置して計測を行った。計測は、2012年1月7日~1月12日にかけて連続的に行った。図-13(a)に流向流速計の設置場所を示し、(b)に流向流速計の設置場所のイメージを示す。流向流速計を杭に固定し、目印としてブイをアンカーに係留して設置した。定点1は干潟域の流向・

流速を、定点2は澁筋付近の流向・流速をそれぞれ調べるために設定した地点である。

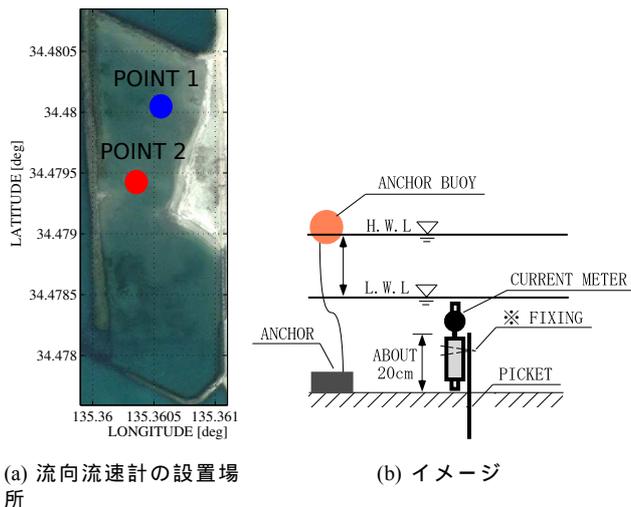


図-13 流向流速計設置概要

### 3.3.2 結果

図-14に定点1の流向・流速と、同時刻の潮位および風向・風速を示す。ここでは風速が比較的小さい2012年1月8日と風速が比較的大きい2012年1月11日の結果を示す。両日とも、最初の上げ潮と最後の下げ潮で、流向が南向きとなっている。しかし、比較的潮位の高くなる時間帯では、両日で流向に違いが見られる。その時間帯で11日は10m/s前後の強い南風が吹いている。そのため、風の影響を受けて潮の流れが北東向きになっていると考えられる。

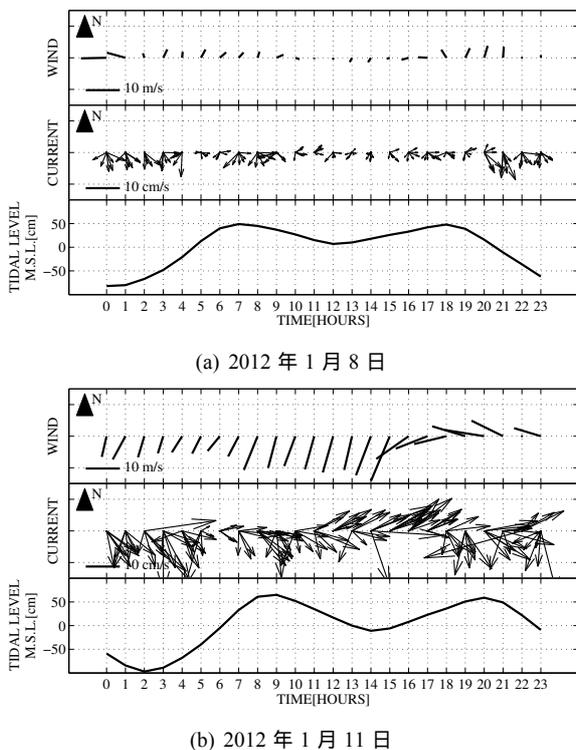


図-14 定点1における流向流速

図-15に定点2での流向・流速と、同時刻の潮位および風向・風速を示す。潮位が最も低くなる時間帯では、流速計が海面から露出してしまい、データが取れなかったためその部分は省いている。定点2では、流向に関しては、8日と11日でほとんど同様の傾向が見られる。これは、定点2が澁筋付近であるため、風の影響よりも潮位変動によって干潟域を流入する流れの影響の方が大きいことによると考えられる。また、両日とも最初の上げ潮と最後の下げ潮で他の時間よりも卓越した流速となっている。これは、時間当たりの潮位変動量が大きくなる時間帯で、澁筋からの潮の流入出が大きく影響していると考えられる。

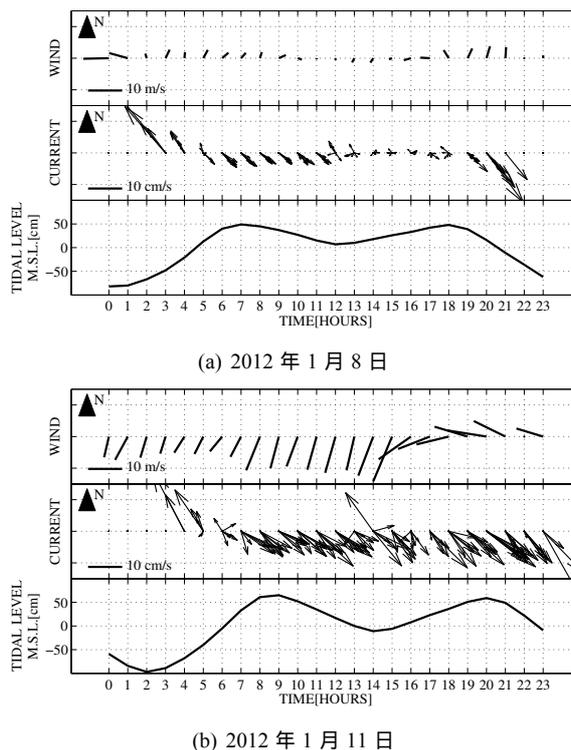


図-15 定点2における流向・流速

風の比較的大きい日は、流速も速くなっている傾向が見られたので、風速と両地点の流速に関して解析を行った。その結果を図-16に示す。回帰分析の結果、定点1では相関係数Rが0.73の正の相関が得られた。したがって、干潟域の流速は、風速と比例関係にあることが示唆された。定点2では、相関係数Rが0.42であった。回帰直線は、正の傾きを有しているが、相関関係は必ずしも良好ではない。以上より、澁筋周辺の流速は、風速よりも、潮位変動による流れの影響が大きいと推測できる。

## 4 まとめ

結果を以下に示す。

- 阪南2区人工干潟では、7月にアオサが大量に繁殖する。

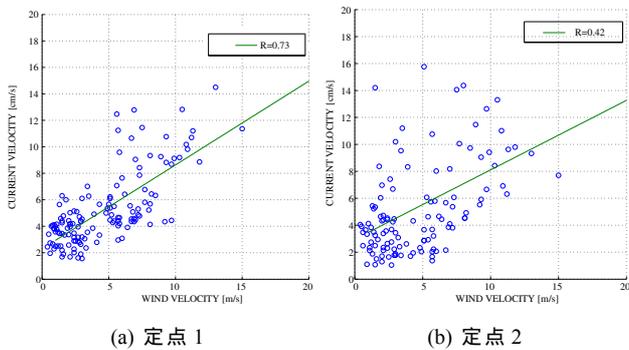


図-16 干潟域および澇筋周辺の風速と流速の関係について

- 潮溜まり，澇筋，平坦部など特徴のある地形が確認され，各々のエリアでアオサの堆積に違いが見られた．
- 下げ潮時には干潟域のアオサが澇筋周辺に集まってくる．
- 澇筋周辺の流向は潮位変動に依存しており，時間当たりの潮位変動量が大きくなると流速も大きくなる．
- 干潟域の風速と流速には正の相関が見られた．風速が卓越する時間帯には流速も卓越する．
- 潮位の高くなる時刻において，南風によって干潟域の流れが北に向き，その流れによってアオサは北部に集まる．

## 5 提案

図-17に阪南2区人工干潟における提案のイメージを示す．図-17のように，北側に人工的に澇筋を造成することを提案する．

阪南2区人工干潟では夏季にアオサが大量に繁茂する．その時期には南風が卓越し，干潟域の流れも北向きになり，アオサは北部に集まる．現状としては，北部に平坦な干潮帯があるため，そこにアオサは打ち上げられる．その場所に澇筋を造成することによって，集まったアオサを干潟域の外の浅海域に追い出すことができる．アオサはその場で発生して，繁茂する．しかし，水深2m以深では光量の関係からアオサは生息できない．そのため，澇筋を人工的に造成してアオサを干潟域の外に流出させることを提案する．

他の海域で人工干潟造成を行うに当たっては，立地候補地周辺で繁茂するアオサの発生時期を推測し，その時期の風や潮位変動も考慮して澇筋を人工的に造成する必要があると考えられる．

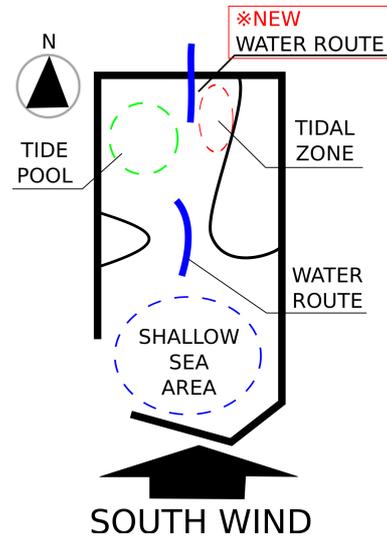


図-17 阪南2区人工干潟における提案

## 参考文献

- [1] 古川恵太 (2008) : 国土技術政策総合研究所資料 阪南2区人工干潟創造実験報告, 国総研資料, 第449号 .
- [2] 古川恵太, 岡田知也, 東島義郎, 橋本浩一 (2005) : 阪南2区における造成干潟実験-都市臨海部に干潟を取り戻すプロジェクト-, 海洋開発論文集, 第21巻, pp.659-664 .
- [3] 片倉徳男, 高山百合子, 上野成三, 勝井秀博, 林文慶, 田中昌宏, 神保裕美, 古川恵太, 岡田知也 (2006) : 人工干潟の地形安定化工法に関する現地実験-阪南2区干潟創造実験-, 海岸工学論文集, 第53巻, pp.1216-1220 .
- [4] 矢持進, 平井研, 藤原俊介 (2003) : 富栄養浅海域における生態系の創出-人工干潟現地実験場での生物と窒素収支の変遷-, 海岸工学論文集, 第50巻, pp.1246-1250 .
- [5] 矢持進, 宮本宏隆, 大西徹 (2003) : 浚渫土砂を活用した人工干潟における窒素収支-大阪湾阪南2区人工干潟現地実験場について-, 土木学会論文集, 第28巻, No.741, pp.13-21 .
- [6] 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トイドの抑制に関する検討, 土木学会論文集, 第65巻, pp.1221-1225 .
- [7] 芳村碧, 矢持進 (2011) : 大阪南港野鳥園北池におけるグリーント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, 海岸工学論文集, Vol. 67, pp.1136-1140 .

討議等

討議[ 矢持進教授 ]

1月の流向・流速をもって結論付けているのは問題ないのか？

回答：アオサの繁茂が多く見られた7月と8月の流向・流速を計測することが望ましいと考えられます。しかし、グリーンタイドが発生しており、大量に蓄積したアオサが邪魔になり、平常時(アオサが大量繁茂していない時)の流向・流速の計測は困難です。1週間の連続計測を行ったので、その間には、様々な風向・風速、潮位変動が起こり得ます。そのため、阪南2区人工干潟の流れの特性を把握するには、大きな問題ではないと考えています。

討議[ 重松孝昌教授 ]

流速と潮位を合わせた検討をすべきではないか？

回答：ご指摘をいただいた後に検討しました。干潟域では潮位に関わらず、風速が速くなる時間帯で流速も速くなり、澁筋周辺に関しては、風向・風速に関わらず、潮位が低くなる時間帯で流速が速くなることが示唆されました。

討議[ 貫上佳則教授 ]

過栄養とは？富栄養との違いは？

回答：過栄養とは富栄養よりも栄養階級が高いことを意味します。海域では栄養階級が定められており、栄養段階の低い順に貧栄養域、富栄養域、過栄養域、腐水域と区分されています。大阪湾は、栄養塩である窒素、リンなどの分布量から過栄養域に分類されます。

討議[ 貫上佳則教授 ]

阪南2区人工干潟の当初の計画は？

回答：当初の計画は、生物の移動などを妨げないよう、中仕切り堤の一部を低天端とするなど、場の連続性に配慮していました。また、生物実験を12ヶ年継続して行うために、適正地盤高が維持されるように、地盤沈下量を見越して、余盛りをしておくことが配慮されていました。以上のことから中仕切り堤の配置、干潟部の高さや配置などが決定されました。干潟造成直後の2004年5月から徐々に地盤が低下していき、2005年6月には潮溜まりが明瞭になったとの報告がありますので、澁筋、潮溜まりに関しては結果的に現状の地形になったと考えられます。

討議[ 貫上佳則教授 ]

提案はオリジナルか？

回答：提案はオリジナルです。人工干潟造成計画の現状として、グリーンタイドに関してはほとんど検討がされていません。日本各地の干潟および海岸でもグリーンタイドは問題となっているため、今後は人工干潟造成計画の中にグリーンタイドに関する検討を入れるべきであると考えています。

討議[ 遠藤徹助教 ]

アオサがどのようになれば改善といえるのか？

回答：アオサは栄養塩の固定などの機能を備えています。そのため、完全にアオサを干潟域から除去することが最善策ではありません。潮間帯よりも岸側に打ち上げられ、グリーンタイド発生の要因となるアオサを無くす必要があります。そのため、干出した場所にアオサが無くなれば改善されたと考えています。

討議[ 遠藤徹助教 ]

9月にアオサが繁茂していなかった要因が9月の風向・風速によるものかもしれないのになぜ9月は検討しなかったのか？

回答：アオサの繁茂が確認された7月、8月、9月の水温・塩分・光量について検討したところ、9月に入ってから水温および光量が低下していました。そのため、9月はアオサが干潟域の外に流出したのではなく、生長しやすい環境でなくなったことでアオサの現存量は減少していたのだと考えています。