

大阪南港咲洲運河の水・底質環境の 改善に関する研究

—底泥耕耘試験の効果検証—

STUDY ON WATER AND SEDIMENT QUALITY IMPROVEMENT
IN OSAKA-NANKO SAKISHIMA CANAL
-VERIFICATION OF EFFECTIVENESS OF THE BOTTOM CULTIVATING
EXPERIMENT -

新開理絵¹・矢持進²・木村和也³

Rie SHINKAI, Susumu YAMOCHI and Kazuya KIMURA

¹工修 総合科学株式会社 (〒540-0024 大阪府大阪市中央区南新町1-4-8)

²正会員 農博 大阪市立大学大学院 工学研究科 (〒558-8585 大阪府大阪市住吉区3-3-138)

³日本ミクニヤ株式会社 大阪支店 (〒552-0021 大阪府大阪市港区築港2-8-24)

The bottom cultivating was carried out to inhibit the bloom of benthic algae and to improve the bottom sediment quality (by promoting oxidation) in the Osaka-Nanko Sakishima Canal in October 2007. As the result, the improvement effect was observed for one-two weeks in the amount of benthic organisms and for about one month in the chlorophyll a concentration of the bottom sediment.

Since the experiment had been conducted at the season when the growth of algae was inactive, the effects of improvement were not clear as quantitatively. These results reveal that the effect of the bottom cultivating experiment should be done (to clarify the change of biomass of the benthic algae) in early spring when the proliferation of benthic algae becomes active.

Key Words : Osaka-Nanko Sakishima Canal, cultivating experiment, quality of bottom sediment

1. はじめに

咲洲は大阪湾の湾奥部に位置する人工島の一つであり、咲洲運河は、咲洲北部の大阪南港コスモスクウェア地区を東西に貫く全長約 1.3km, 基本運河幅が 9m, 基本水深 2.5m の規模で、1996 年より整備が行われ、2003 年より供用開始となった人工の水路である (図-1)。西端の水門において潮位差を利用して外海水を取水し、東端に設置されたポンプを用いて夜間に再び外海に排水している。現在、運河沿いには大学や大型マンションの立地が予定されており、とりわけ大型マンションの開発事業者はカフェテラスや物販施設を運河沿いに配置するなど運河の活用を核とした開発計画を検討している。そのため賑い軸、歩行者ネットワークの形成等が運河の役割として求められるが、春から夏にかけて水面に藻類が大発生して景観が損なわれており、水質劣化や悪臭といった問題が懸念されている (図-2)。

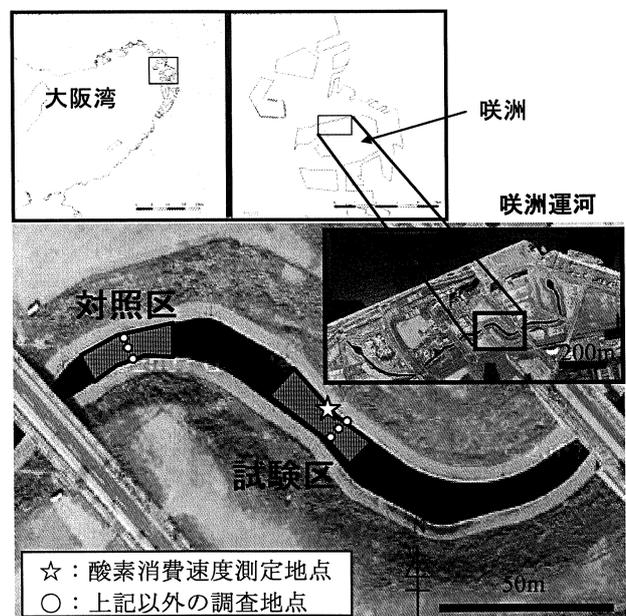


図-1 咲洲運河の位置と底泥耕耘試験区



図-2 排水口付近の表層に集積する藻類

2006年の事前調査¹⁾に加えて2007年にも同様の定期調査を行い、これまでにわかった咲洲運河における藻類と酸素環境の季節的変化を図-3に示す。春先には水底で溶存酸素濃度が上昇することから、水面を覆い尽くすほどに繁茂する海藻(緑藻ジズモ属の一種)は、水底で繁殖したものが千切れて浮遊したものであることがわかった。海藻大発生ピークを過ぎると、夏にかけて運河の表層で赤潮プランクトンが増殖するようになり、また冬には珪藻メロシラ属が群体を形成して水面に浮遊するなど、一年を通して景観上様々な問題を抱えていることが明らかになった。

底生藻類や植物プランクトンが繁茂している時期(3~7月頃)は水中の溶存酸素は豊富であったが、夏季の底層においては貧酸素状態になっていた。底泥は有機物含有量の高い泥質で、底生藻類が繁茂している時期は酸化的であったが、運河表層で植物プランクトンが優占すると、藻類やプランクトンの枯死体による有機物負荷が大きくなり底層水の貧酸素化、底質の還元化を引き起こしたと考えられる。

このような諸問題を解消するため、本研究では、底泥を攪拌することで藻類の大量発生や生長を抑制するとともに、底泥の酸化的分解の促進によって底

質を改善できるのではないかと考え、微細気泡を用いた底泥耕耘試験を実施し、その効果を検証した。

2. 底泥耕耘試験及び効果検証方法の概要

(1) 底泥耕耘試験の概要

底泥耕耘とは覆砂・浚渫などと並び一般的な水域環境改善方法の一つであり、耕耘機によって海域、河川及び湖沼の水底堆積物を人為的に攪拌させるものである。一般的に底泥耕耘を行う目的としては「有機汚濁物質の分解促進」、「固結地盤の解砕」などがある。本実験では底泥の好気分解をさらに促進するため、微細気泡を用いた底泥耕耘方法を採用した。

本研究で底泥耕耘試験に使用した機器の仕様を表-1に示す。ガソリンエンジンにより表層水をポンプアップし、エンジンユニットに収納したコンプレッサーによって微細気泡を混入した水を、ノズルユニットから底泥へ噴射する構造である。ノズルユニットの両端にロープをくくりつけ、そのロープを人が運河の対岸で引っ張りながら移動する。

耕耘は図-1に示した試験区内(約9m×30m)で行い、運河の流れ方向と平行にノズルユニットを行き来させ、試験区内の底泥を満遍なく攪拌させた。

表-1 微細気泡海底耕耘機の仕様

名称		微細気泡海底耕耘機
製造元		株式会社森機械製作所
機体寸法	全長(mm)	1300
	全幅(mm)	600
	全高(mm)	860
機体質量(kg)		155
エンジン		最大出力 11.3ps/2000rp
燃料		自動車用ガソリン
海水ポンプ		揚程20m 吐出量0.35m ³ /分
コンプレッサー		圧力0.25Mpa 空気量75ℓ/分

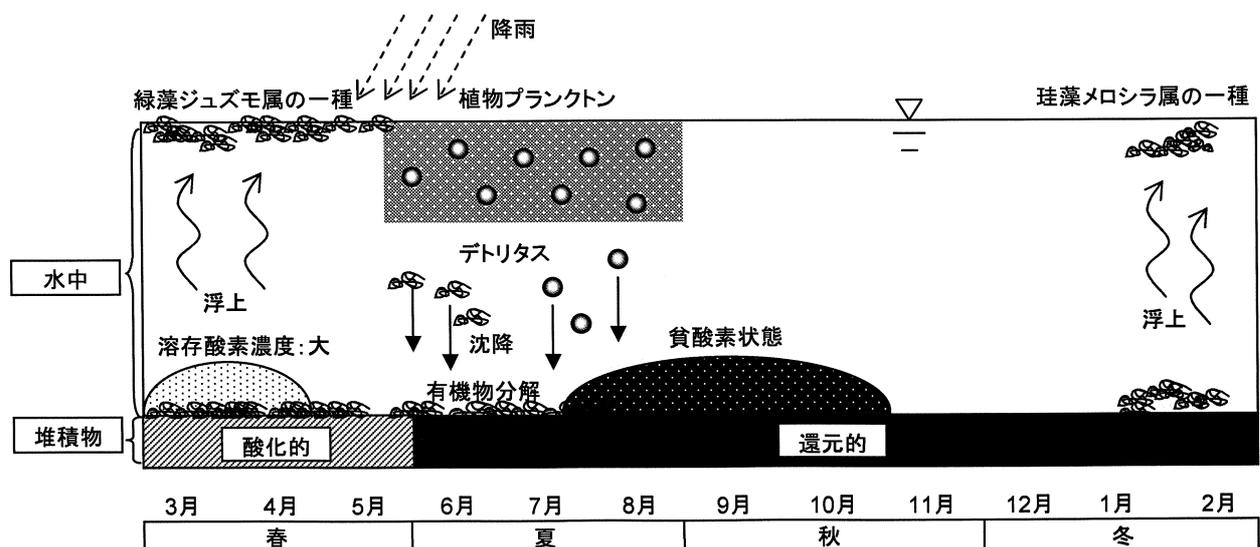


図-3 咲洲運河における藻類と酸素環境の季節的変化の模式図

底泥の堆積厚は 20cm 程度であり、水流により最下層の底泥まで攪拌した。壁際は泥が比較的多く堆積していたため、片側の護岸より 2 本のロープを操作し、ノズルを護岸に押し当てるように耕耘した。作業の所要時間は約 1 時間であった。また耕耘しない対照区を、試験区の上流側に設けた。

(2) 効果検証方法の概要

a) 調査地点

水質及び底質改善効果を検証するための調査は、各区画の中ほどにおいて壁際と中央部の 3 点、計 6 点（図-1中に○印で示した地点）で行った。壁際の地点は護岸から機器測定及び採泥を行い、中央部の地点ではバスポートを用いた。また、底泥の酸素消費速度測定にはチャンバー法を用い、ベンシクチャンバーの設置地点は図-1中に☆印で示した地点とした。

b) 調査日

底泥耕耘は2007年10月30日に試験区において行った。環境改善効果の調査は耕耘前を含めて計 7 回、2007年10月30日（事前調査）、2007年10月31日（1日後）、2007年11月2日（3日後）、2007年11月6日（1週間後）、2007年11月13日（2週間後）、2007年11月27日（1ヵ月後）、2007年12月25日（2ヵ月後）に行った。

c) 水質及び底質調査項目

水質調査項目は水温、塩分、溶存酸素濃度、濁度で、多項目水質計及び溶存酸素計を用いて鉛直測定を行った。さらに濁度からの換算でSS濃度を求めた。

底質調査項目は粒度組成、強熱減量、有機炭素・窒素量、酸化還元電位、酸揮発性硫化物濃度、クロロフィルa濃度、フェオフィチン濃度であり、エクマンバージ採泥器(0.0225m²)を用いて採泥したものを分析に供した。クロロフィルa濃度、フェオフィチン濃度については、エクマンバージ採泥器で採泥したものからさらにアクリル製小型コアサンプラー（断面積2.54cm²）を用い、堆積物表層を乱さないようにして採取し、表層0.5cmを切り取ったものを分析に供した。

d) 底泥の酸素消費速度測定方法

底泥の酸素消費速度測定には、光を通さないよう黒色に塗装されたベンシクチャンバーを用い、チャンバー内に運河の表層水を満たした状態で水底に沈めて静置し、内部の溶存酸素濃度を9時頃から15時頃までの約6時間、2分間隔で連続測定した。水底に沈めて安定してからの溶存酸素濃度と、6時間後の溶存酸素濃度の差を時間で除して、ベンシクチャンバー内の酸素消費速度を求めた。

また、表層水をガラス製の酸素瓶に注入し、酸素濃度を測定した後密栓し、光を通さないアルミの袋に入れベンシクチャンバーとほぼ同じ時刻に水底に静置した。6時間後に取り上げ、再び溶存酸素濃度を測定し、その差から水中の酸素消費速度を求めた。

光を遮った状態のベンシクチャンバー内の酸素消費は、水中の植物・動物プランクトンによる呼吸、底泥中の底生微細藻類、底生動物の呼吸による消費と、底泥有機物が分解される際に消費されるものに分けられる。酸素瓶内の酸素消費は水中の植物・動物プランクトンによる呼吸によるもののみと考えられるため、底泥の酸素消費速度は、ベンシクチャンバー内の酸素消費速度から酸素瓶内の酸素消費速度を差し引いたもので表される。

3. 主要な調査結果と考察

(1) 水質

a) 溶存酸素濃度

図-4に底泥耕耘直前と耕耘1日後の各区画における溶存酸素濃度（3点平均）の鉛直分布を示す。2007年10月30日の耕耘直前には両区画の表層で約 5.7mg-O₂/L と、海域における水産用水基準(6 mg-O₂/L)²⁾に近い値となっていたが、深度1mを境に値が低下し、底層では貧酸素状態(内湾漁場の夏季底層において最低限維持すべき濃度；4.3mg-O₂/L)²⁾を下回っていた。しかし耕耘1日後には各区画で躍層が解消しており、底層でも 4.2mg-O₂/L 程度まで上昇していた。耕耘前と比較して試験区の水底で 1.2mg-O₂/L の上昇があり、対照区においても 0.9mg-O₂/L の上昇があった。耕耘後も夜間に通常通りポンプによる海水交換は行われていたため、耕耘直後の海水が残存していたわけではないが、耕耘によって底泥の嫌気層がむきだしになった状態でも、流入してきた海水の溶存酸素濃度に影響を与えないということがわかった。しかし3日後には試験区及び対照区で底層が貧酸素状態になっており、その後試験区と対照区との差はほとんどみられず、季節とともに徐々に貧酸素状態と躍層が解消されていった。

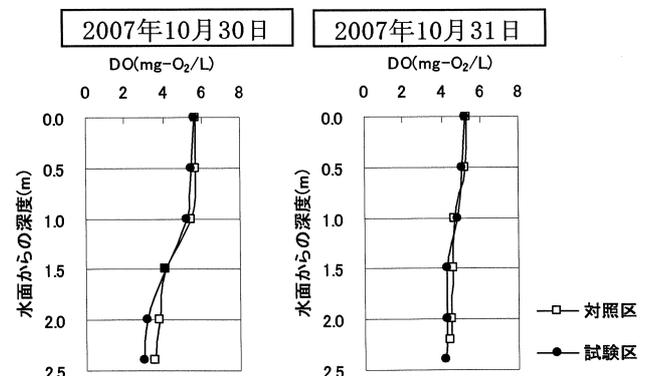


図-4 底泥耕耘直前(左)と耕耘1日後の各区画における平均溶存酸素濃度（3点平均）の鉛直分布

b) SS 濃度

図-5に底泥耕耘直前と耕耘1日後の各区画におけるSS濃度（3点平均）の鉛直分布を示す。SS濃度は耕耘前と耕耘1日後、及び対照区と試験区のいずれに

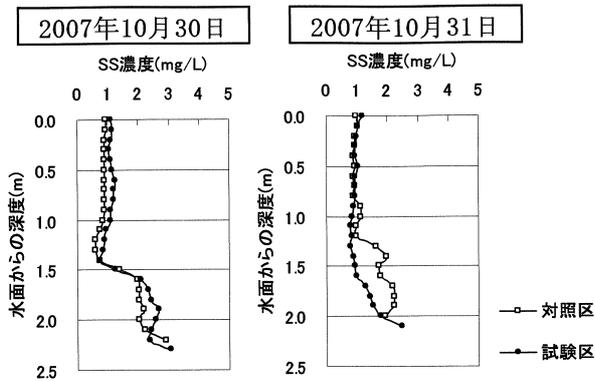


図-5 底泥耕耘直前(左)と耕耘1日後の各区画におけるSS濃度(3点平均)鉛直分布

おいても底層で上昇する傾向がみられたが、底泥耕耘による影響はなかったといえる。耕耘によって底泥が巻き上げられても、その影響による水中の濁りは、1日後には少なくともその場に残留しないことがわかった。

c) まとめ

水温・塩分に関しても、耕耘前と耕耘後、及び対照区と試験区で大きな差異はみられなかった。耕耘の影響を受けた海水は排水によって下流側に流されるため、下流側での観測が必要であったと考えられるが、耕耘を行った区域においては、耕耘1日後以降の水質にほとんど影響がないことがわかった。

なお今回の底泥耕耘試験では、攪乱による藻類の発生抑制及び底質改善を目的としており、底質の巻き上がりによる栄養塩の溶出は考慮しなかった。理由としては、咲洲運河がそもそも大阪湾の富栄養な海水を取水しているため、定期調査の結果からも運河内の平均栄養塩濃度は環境基準のIV類型も達成しないことがわかっており、底泥からの栄養塩溶出が藻類の発生を左右するとは考えられなかったためである。

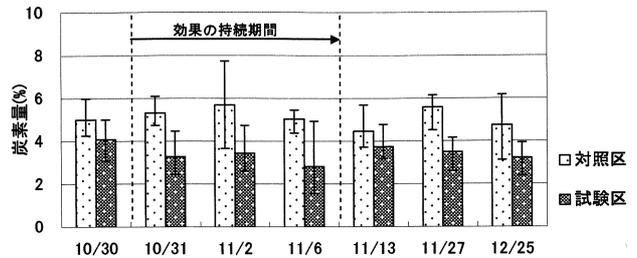
(2) 底質

a) 有機炭素量

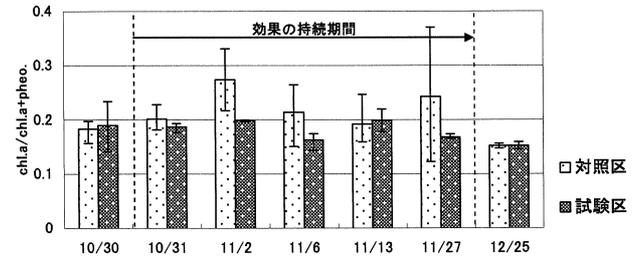
図-6に2007年10月30日から12月25日までの7回分の調査における各区画の有機炭素量(3点平均)の推移を示す。

炭素量は耕耘前の時点で対照区と試験区に差があったが、耕耘1日後にその差はさらに大きくなり、耕耘2週間後の11月13日に対照区との差が耕耘前より小さくなった。ここから、底泥耕耘による炭素量の減少効果はおよそ1~2週間程度でなくなると考えられ、最大1.3%の減少効果があったといえる。

有機炭素量は底質に含まれる有機物含有量の指標となり、この減少は、堆積していた還元泥が耕耘によって強制的に酸素に触れ、易分解性有機物が分解されたことによるものと考えられる。



※バーは最大値と最小値を表す
図-6 各区画の有機炭素量(3点平均)の推移



※バーは最大値と最小値を表す
図-7 各区画のクロロフィルaとフェオフィチンの合計に対するクロロフィルaの割合(3点平均)の推移

b) クロロフィル a の割合

図-7に2007年10月30日から12月25日までの7回分の調査における各区画のクロロフィルaとフェオフィチンの合計に対するクロロフィルaの割合(3点平均)の推移を示す。これは、底生藻類の生細胞と死細胞の全量に対する生細胞の割合の指標となる。耕耘前のクロロフィルaの割合は対照区と試験区で同程度であり、最大値で見ると試験区の方がやや高かったが、耕耘後は対照区でクロロフィルaの割合が高くなって試験区では対照区ほど大きくなり、1ヵ月後までその傾向が続いた。

クロロフィルa及びフェオフィチンの量は底質のほかに気象条件や流入水の水質に左右されると考えられるが、耕耘後では底質以外の条件は対照区と試験区でほぼ同程度とみなせる。10月31日、11月13日は対照区と試験区でクロロフィルaの割合が同程度であったのは、気象や水質の条件がクロロフィルaの増加につながるものではなく、反対に11月2日、8日、27日のように対照区でクロロフィルaの割合が高くなる条件の時に試験区で高くならなかったことから、また2ヵ月後の12月25日は対照区と試験区でほぼ同じ値を示したが、2ヵ月後まで効果が持続していると判断するには材料が乏しいことから、今回の試験では耕耘による効果の持続期間は1ヶ月程度であったといえる。

c) まとめ

調査を行った底質の項目は、有機物量に関する項目、酸化・還元状態に関する項目、底生藻類現存量に関する項目にわけることができ、それぞれの項目

表-2 底泥耕耘による底質改善効果

項目	期待される効果	結果
有機物量に関する項目	強熱減量	減少
	有機炭素 有機窒素	減少
酸化・還元状態に関する項目	酸化還元電位	上昇
	酸揮発性硫化物	減少
底生藻類現存量に関する項目	クロロフィルaの割合	減少



図-8 耕耘1ヵ月後の試験区における底泥表面の様子 (黒線で囲まれた範囲が底泥表面を掻いた部分)



図-9 耕耘1ヵ月後の対照区における底泥表面の様子

で期待された効果と底泥耕耘による底質改善効果を表-2に示す。

強熱減量、有機炭素・窒素といった有機物量に関する項目では約1週間の改善効果、クロロフィルaの割合といった底生藻類現存量に関する項目では約1ヵ月の改善効果がみられたが、酸化還元電位、酸揮発性硫化物の酸化・還元状態に関する項目ではばらつきが大きく、改善効果は確認できなかった。

図-8に示す耕耘1ヵ月後に撮影された水中写真のように、底泥のごく表層は酸化泥であっても、掻いてみればすぐ下層には還元泥が存在したことが確認されたが、エクマンバージ採泥器で採泥すると表層泥

が水とともに流れ出てしまったり、耕耘後は特に泥そのものが少ないために下層泥も混ぜて採泥したりしたことで、酸化的か還元的かを表す項目についてばらつきが大きくなったと考えられる。

一方、耕耘後1ヵ月後の対照区では図-9のように被度60%程度で糸状藻類が繁茂しているのが確認されたが、試験区では確認されなかった。ここからも底泥耕耘によって底生藻類の発生は抑制できたと考えられるが、定量的に評価することはできなかった。

いずれにせよ、今回の底泥耕耘における一番の目的であった底生藻類の発生抑制に対する効果は、藻類の繁殖が活発でない秋に行ってもそれほど顕著に現れるものではないので、耕耘の効果を最長1ヵ月と断定するのは適切ではないと考える。2007年の定期調査結果より3月には底泥直上の溶存酸素濃度上昇がみられたことから、藻類の繁殖が始まると考えられる3月頃に底泥耕耘を行い、追跡調査として藻類の現存量調査を行うべきだろう。

(3) 底泥の酸素消費速度

図-10に2007年10月30日から12月25日までの計7回の調査時に、試験区内(図-1中に☆印で示した地点)においてベンシックチャンバーを用いて得られた底泥の酸素消費速度の推移を示す。横軸は底泥耕耘からの日数、縦軸は底泥の酸素消費速度を示しており、単位時間、単位面積あたりの溶存酸素の減少量である。

耕耘前の10月30日には、酸素消費速度は $110\text{mg-O}_2/\text{m}^2/\text{h}$ にまで達したが、耕耘1日後の10月31日には $29\text{mg-O}_2/\text{m}^2/\text{h}$ に減少し、その後増減を繰り返しながら上昇していく傾向がみられた。耕耘によって易分解性の有機物が比較的容易に分解され、1日後には底泥の有機物量が減って酸素消費速度が減少し、日が経つにつれて再び有機物が堆積して酸素消費速度が徐々に上がっていったと考えられる。これは耕耘後に底泥の強熱減量や有機炭素量が対照区、耕耘前と比べて減少していたことからもうかがえる。また、呼吸によって酸素を消費する底生動物が減少したことや、耕耘によって一部の土粒子が巻き上げられて流され、酸素を消費する底泥そのものが減少したこ

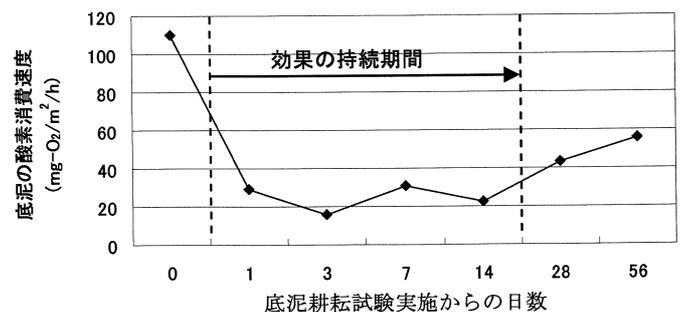


図-10 底泥の酸素消費速度の推移

ともその一因であろう。実際に採泥を行った際、対照区の泥は堆積圧で締め固められており採泥しやすかったが、耕耘後の試験区では泥の固結が解かれ軟弱になっていたようで、採泥器を落としても泥の感触がないこともしばしばあった。水中写真を見る限り泥が完全になくなっていくというわけではなく、密度が小さくなってチャンバー内の泥の絶対量が少なくなったために酸素消費速度が減少したのではないとも考えられる。1ヵ月後以降は明らかに上昇傾向に転じているので、耕耘による酸素消費速度減少の効果はおおむね2週間程度であると考えられる。水温が低下すると微生物や動物の活性が下がるため酸素消費速度は小さくなると考えられるが、季節の移り変わりとともに耕耘1ヵ月後、2ヵ月後の水底の水温は、耕耘1日後と比べてそれぞれ5℃、9℃程度の低下がみられた。それにも関わらず耕耘1ヵ月後、2ヵ月後の酸素消費速度には上昇傾向がみられたことから、新たに堆積した有機物や、底生生物の増加の影響が大きいといえる。

咲洲運河と同様に富栄養でジュズモが繁茂する大阪南港野鳥園南池における、夏季と秋季の平均酸素消費速度は $131\text{mg-O}_2/\text{m}^2/\text{h}$ であるとされている³⁾。また矢持ら(1992)によると、大阪湾谷川港における底泥の酸素消費速度は水温20℃で $49\text{mg-O}_2/\text{m}^2/\text{h}$ 、25℃で $51\text{mg-O}_2/\text{m}^2/\text{h}$ とされている⁴⁾。大阪南港野鳥園南池では底生動物の現存量が大きいこと、呼吸による酸素消費量が大きく寄与していると考えられるが、底生動物の現存量が小さい咲洲運河の底泥耕耘前の酸素消費速度と同程度であった。一方底泥耕耘後の酸素消費速度は、大阪湾南部の比較的富栄養でない海域における底泥の酸素消費速度よりも小さくなることがわかった。

4. 結論

咲洲運河におけるこれまでの定期調査の結果から、運河の水面景観を劣化させている藻類は底泥で繁茂した後、千切れて水面に浮遊していることがわかった。また夏以降底泥が還元状態となっており、底生動物の生息に適さない底質となっていた。そこで底泥を攪拌して藻類の発生・生長を抑制するとともに、

底泥の酸化的分解の促進によって底質を改善することを目的として、底泥耕耘実験を実施した。

結果としては底質中の有機物含有量を示す項目に関しては1週間から2週間程度、底生藻類現存量の指標となるクロロフィルaに関しては1ヵ月程度、改善効果の持続がみられた。ただし耕耘から1ヵ月後において対照区では糸状底生藻類(ジュズモ属の一種)が繁茂していることが確認されたが、試験区では発生が確認されなかったことから、水面景観劣化の原因となっていた糸状藻類の増殖抑制効果は1ヵ月以上持続すると推察される。

藻類の発生・生長が沈静化している季節に耕耘実験を行ったため、藻類の現存量といった目に見える形での効果を検証することができなかった。藻類の増殖は春先に活発になると考えられるので、その頃に再び耕耘実験を行い、浮遊藻類の量がどの程度変化するかを調査した上で、底泥耕耘の効果を評価することが望ましいと考える。

謝辞：本研究は大阪市立大学と大阪市港湾局の共同研究であり、第一著者が大阪市立大学大学院在籍中に行ったものである。本研究を遂行するにあたり、大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻の環境水域工学研究室の院生・学生諸氏ならびに日本ミクニヤ株式会社の社員の方々には種々の御協力を賜った。また本研究は大阪市港湾局の多大な御支援のもとに実施できた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 新開理絵、矢持進：大阪南港咲洲運河の水質改善のための事前調査、海洋開発論文集、Vol123, pp. 715-719, 2007.
- 2) 日本水産資源保護協会：水産用水基準(2005年版), pp. 3-4, 2006.
- 3) 神保幸代：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, 2007.
- 4) 矢持進・佐野雅其：大阪湾谷川港における溶存酸素濃度の変動とサルエビのへい死について、水産海洋研究、第56巻, pp. 1-12, 1992.