

大阪南港咲洲運河の水質改善のための 事前調査

PRE-INVESTIGATIONS FOR WATER QUALITY IMPROVEMENT IN OSAKA-NANKO SAKISHIMA CANAL

新開理絵¹・矢持進²

Rie SHINKAI and Susumu YAMOCHI

¹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)

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)

Field surveys were conducted in Osaka-Nanko Sakishima Canal from May to October 2006, to clarify the water quality and causative organisms of the deteriorated scenery. Steady increase of pH was observed with decreasing salinity at the inner part of the canal due to the inflow of rainwater and/or underground water. Concentrations of dissolved oxygen were high in the bottom water of the canal compared with the surface one in May 2006. This phenomena result from the active photosynthesis of a green alga, *Chaetomorpha* sp. on the bottom sediment. Nutrient concentrations in the bottom water changed from 0.2 to 1.0mg/L for total nitrogen and from 25 to 50μg/L for total phosphorus in June, July, and September 2006. A marked decline in nutrient concentration was observed below 3m in depth near a sluice gate of the canal. The facts obtained from the present investigations suggest that putting lower the water level in the canal, setting lower the vertical level of the sluice gate, together with enhancement of water exchange are effective for the improvement of water quality and for the depression of algal blooms.

Key Words : Osaka-Nanko Sakishima canal, bloom of *Chaetomorpha*, water quality

1. はじめに

咲洲運河は、大阪南港コスモスクウェア地区中央部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水路である。西端の水門において潮位差を利用して外海水を取り水、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、春から夏にかけて藻類の群体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。

そこで本研究では、これまで水質等のデータが一切なかったこの運河において、2006 年の春から秋にかけて定期的に現地調査を行うことによって、運河水質の実態を把握し基礎データを蓄積することと、藻類の発生抑制および水質改善に向けた対策を講ずるための検討を行うことを目的とした。

2. 調査の概要

調査は 2006 年 5 月から 10 月にかけて月に一度(下旬)に行った。図-1 に運河全体図と調査地点を示す。外海水の取水地点を St.1 とし、排水側に向かって運河内を St.2~9, 外海への排水地点を St.10 とした。これらの 10 地点において水温・塩分・溶存酸素濃度の鉛直分布、表層水のクロロフィル a 濃度、表・底層水の pH, 全窒素および全リン濃度の測定を行った。また、2006 年 8 月 30-31 日にかけて

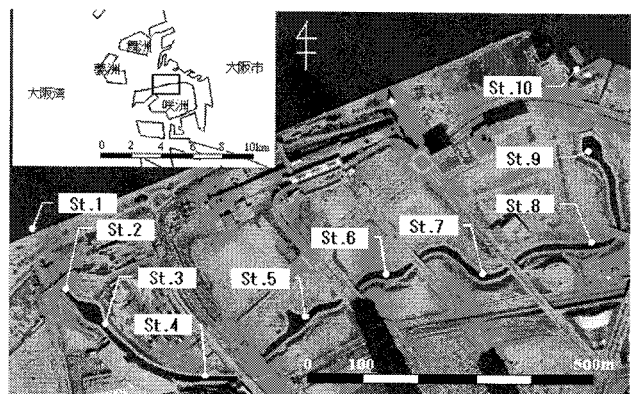


図-1 咲洲運河全体図および調査地点

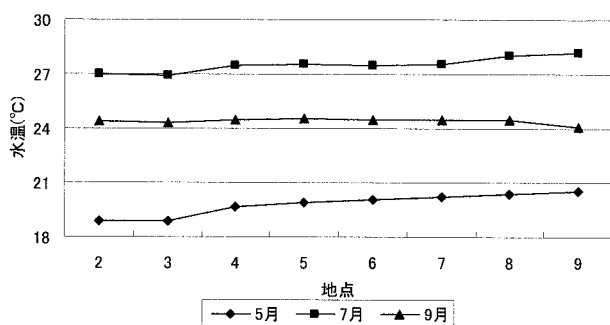


図-2 水温の鉛直平均値 (5・7・9月)

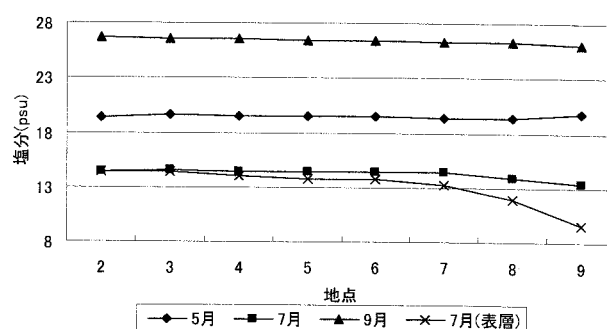


図-3 塩分の鉛直平均値 (5・7・9月)

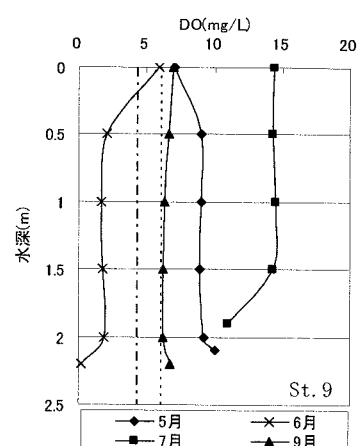
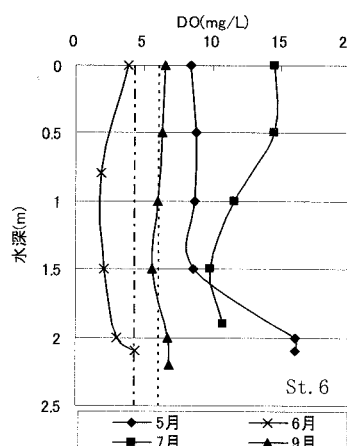
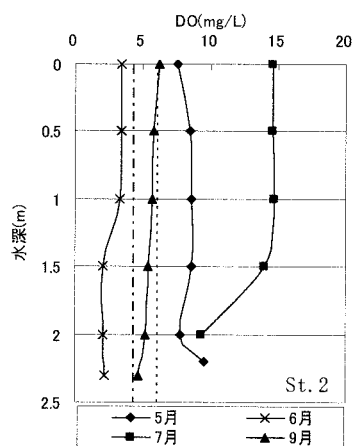


図-4 St.2 (取水側), St.6 (中間地点), St.9 (排水側) のDO鉛直分布 (5・6・7・9月)

----- は海域における水産用水基準 : DO=6mg/L

----- は内湾漁場の夏季底層において最低限維持すべき濃度 : DO=4.3mg/L

て水路内の 4 定点(St.3, St.5, St.7, St.9)に透明ガラス製のセディメントトラップ (内径 3.7cm, 深さ 10cm) を運河の底面から 50cm 上層に約 24 時間垂下し, 沈降粒子量を測定した. なお, 水温と塩分はアレック電子社製 Compact CTD (ASTD-650 型) を, 溶存酸素は長島商事製溶存酸素計 (ND-10 型) を, pH は堀場製作所製 pH 計 (D-21 型) を用いてそれぞれ計測した. また, クロロフィル a は試水約 500ml をワットマン GF/F 濾紙を用いて濾過後, 蛍光法¹⁾により測定した. 溶存態全窒素と全リンは過硫酸カリ分解後, オートアナライザー (ビーエルテック製 AACS-III 型) を用いて分析した. また, 懸濁態窒素の分析にはヤナコ分析工業製 CHN コーダー (MT-6 型) を使用した.

3. 主要な調査結果

(1) 水温・塩分

水路内 8 点における水温の鉛直平均値 (10cm 間隔) は, 春から夏にかけては水路の排水側ほど水温が高くなる傾向が見られた (図-2). 気温が高くなる昼間には排水が行われていないため, 排水側で流速が小さくなり, 特に表層の水が温められやすくなり水温躍層ができていたことがわかった. 9 月末の気温が下がり始める頃には鉛直混合が起こり, 排水側でも表層から底層まで 24°C 前後ほぼ一定の水温

となっていた.

塩分については, 各時期の鉛直平均値は St.2 から St.9 にかけてほぼ一定であった. ただし, 7 月は降雨の影響を大きく受けたと考えられ, 表層の塩分が St.2 で 14.4psu であったのに対し, St.9 では 9.6psu まで低下していた (図-3). このことは, 滞留時間の長い排水側ほど周囲からの淡水流入 (雨水, 浸出水等) の影響が強いことを示している. 表層の水温が高くなっていた 5-7 月には塩分にも垂直的な成層構造が見られ, この傾向は水路中央部から排水側で顕著であった.

(2) 溶存酸素濃度

溶存酸素に関しては, 運河内の水深が 2.5m 程度と小さく底層まで十分に光が透過するため, 梅雨で日照が十分でなかったと考えられる 6 月の調査日以外は全層で水産用水基準 (内湾漁場の夏季底層において最低限維持すべき濃度 : DO>4.3mg/L²⁾) を満たしていた. 6 月は酸素濃度が全般的に低く, 排水側の St.9 では最下層は殆ど酸素がない状況であった. 一方, 7 月は植物プランクトンが大量に発生したため, 表層から下層のすべてにおいて 10mg/L を超える値となった. 特に表層では 15 mg/L を超えるほどであり, 強い赤潮が形成されていた.

この運河の酸素分布で特徴的なことは, 水底近くで急に酸素濃度が増加することである. とりわけ, 水温が上昇し日照時間が増加する 5 月にこの特徴が

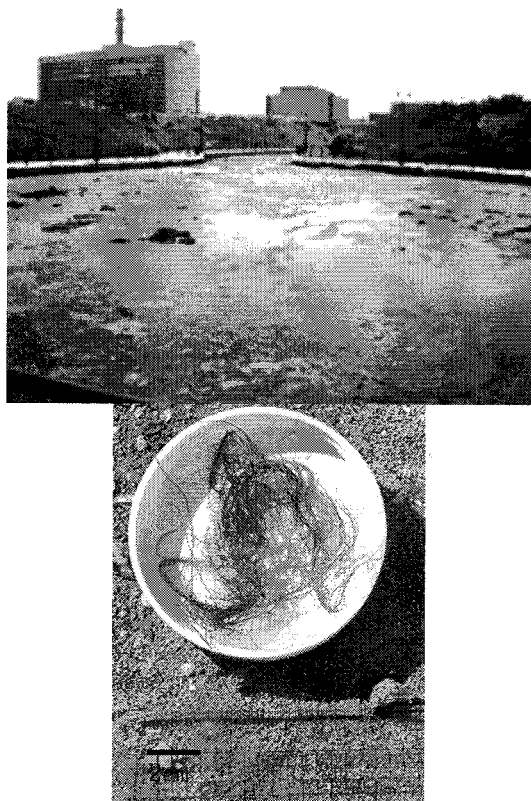


図-5 St.9 付近の表層で滞留する藻類の群体（上）と優占海藻ホソジズモ属の一種（下）

顕著に現れた（図-4）。これは水底に緑藻ジズモ属³⁾の一種（*Chaetomorpha* sp.）が大量に繁茂し（図-5），強い光を受け活発に光合成し，酸素を放出したことによる。この藻類の光合成速度については，塩分 29psu を基準とした時，値が 50%に低下するのは塩分 5psu であり，低塩分耐性に優れることや，湿度 90%の雰囲気において，15 分間の乾燥で失活することなどがわかっている（矢持ほか，未発表）。

いずれにしても，初夏から晩夏にかけての水面の景観悪化は，海水の着色が見られなかったことから，赤潮など浮游性植物プランクトンによるものではなく，水底の海藻類が大繁殖し，それが死滅後腐敗分解し，水面を漂うことによって起こると考えられた。

(3) pH・クロロフィル a

取水（St.1）が淀川などの河川水の影響を受けているため St.2 の表層の pH は低めであったが（海域の水産用水基準： $7.8 \leq \text{pH} \leq 8.4$ ），水路内に入ってから排水側ほど高くなる傾向が見られた。特に 7 月は St.2 と St.9 で pH に 1.7 の差があった（図-6）。一方，7 月の表層水中のクロロフィル a 濃度は取水側で $60\text{--}80\mu\text{g/L}$ と高く，排水側ほど減少する傾向があった（図-7）。このように，取水側で高いクロロフィル濃度が見られたことから，水路内で浮游性微小藻類が大増殖したのではなく，活発な浮游性微細藻類の増殖が起こっていた河川系水を取り込むことによって St.2 から St.5 のクロロフィル a 濃度が高くなった可能性が強い。また本来なら，植物による

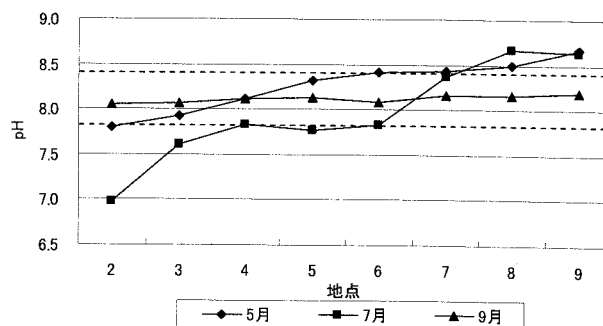


図-6 表層水の pH (5・7・9月)

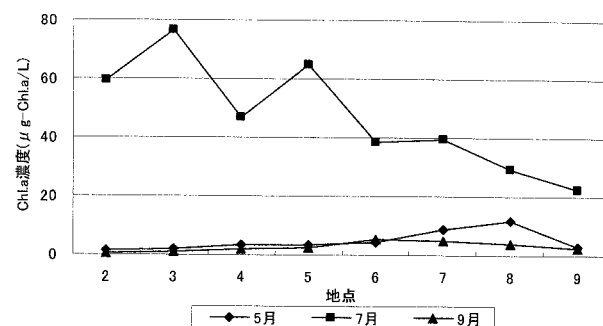


図-7 表層水のクロロフィル a 濃度 (5・7・9月)

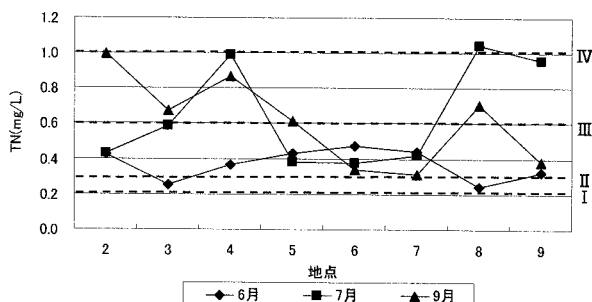


図-8 底層水の全窒素濃度 (6・7・9月)

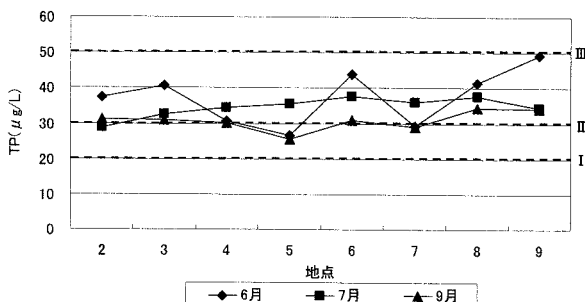


図-9 底層水の全リン濃度 (6・7・9月)

光合成が活発になると二酸化炭素が消費されるため pH が高くなるはずであるが⁴⁾，7 月の咲洲運河においては植物プランクトン量が小さくなる排水側で逆に pH が高くなっていることから，取水部近く (St.2-3) では pH の比較的低い河川水の影響が強く現れ，排水側 (St.7-9) では光合成の影響とともにコンクリートや周辺土壤に含まれるアルカリ成分が流入して pH が高くなったのではないかと考えられる。

(4) 全窒素・全リン濃度

図-8，図-9 に，6・7・9 月における水路内の底層水全窒素・全リン濃度の分布を示す。図中の点線はそれぞれ環境基準の数値を示しており，海域にお

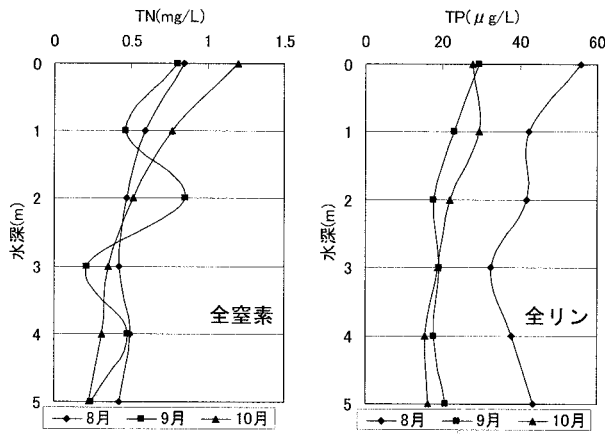


図-10 St.1における全窒素・全リン濃度鉛直分布

る環境基準はⅠ類(TN<0.2mg/L, TP<0.02mg/L), Ⅱ類(TN<0.3mg/L, TP<0.03mg/L), Ⅲ類(TN<0.6mg/L, TP<0.05mg/L), Ⅳ類(TN<1.0mg/L, TP<0.09mg/L)となっている⁵⁾。底層全窒素濃度は高い月でも環境基準Ⅳ類を、底層全リン濃度はⅢ類を概ね達成していたことがわかった。

また 8-10 月に、取水口付近の外海における表層から底層まで水深 1m 間隔の栄養塩濃度の鉛直分布をとったところ、底層ほど全窒素、全リン濃度が減少する傾向があった(図-10)。3ヶ月の平均値において 0m 層を 100%とすると、全窒素に関しては 1m および 2m 層で 64%, 3m 層で 35%, 4m 層で 45%, 5m 層で 31%となり、全リンに関しては 1m 層で 84%, 2m 層で 72%, 3m 層で 62%, 4m 層で 63%, 5m 層で 71%となっていた。つまり、現在の取水位置(水深 1-2m, 潮位により変動)よりも、水深 3m 以深での取水が可能になれば、水路内に流入する海水の全窒素濃度は現在の約半分、全リン濃度は 70-80%程度になることがわかった。

(5) 沈降粒子量

8月の調査時に、水路内の4点において約24時間セディメントトラップを設置し、回収したビン内の海水を濾過し、濾紙残留物の重量を測定した。その結果から単位時間および単位面積(cm²)あたりの堆積速度を求め、さらに大阪湾泉南沿岸域における新生堆積物の堆積速度の測定結果⁶⁾から空隙率を0.88、粒子密度を2.65g/cm³と仮定し、1年あたりの堆積厚を概算推定した(図-11)。堆積速度(W : g/cm²/year)から堆積厚(S : cm/year)への換算は松本・横田の方法⁷⁾により、

$$S = W / \{(1 - \phi) \cdot Ps\} \quad (1)$$

ϕ : 海底堆積物の空隙率

Ps : 海底堆積物粒子密度(g/cm³)

とした。結果として年間の沈降粒子の堆積速度は0.7-2.0g/cm²、同じく堆積厚推定値は2.1-6.2cmとなり、水路の奥部ほど堆積量が大きくなっていた。今回は夏季の結果のみであり、年間堆積厚を正確に求めることはできないが、水路奥部は停滞性が強く、

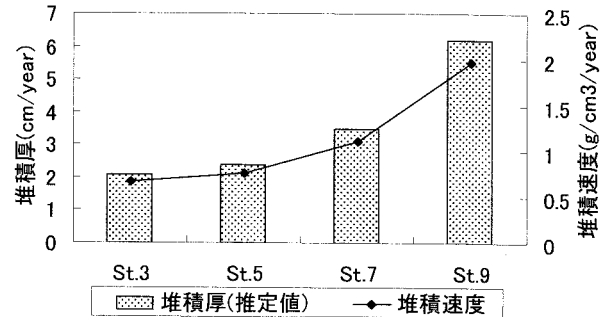


図-11 沈降粒子の堆積速度および堆積厚推定値

浮游懸濁物質の沈降量が多くなっている状況が窺われた。

4. 水質改善方策の検討

これまでの調査の結果から、大都市の河口域にある咲洲キャナルは富栄養な汽水が流入しやすく、水深が約 2.5m と浅いため光が水底まで透過し、また、排水側(St.9)ほど流速が小さいことなどが原因となって水底で藻類が繁茂しやすい状況にあると考えられた。そして、この大量増殖した海藻(ジュズモ属の一種)がちぎれて表層まで浮遊してくることが運河の景観を損ねる原因となっていた。また水路内で取水側から排水側にかけて、pH など項目によっては大きく水質が変化していることは、生物に生理的ストレスを与えるため、水路の奥部への生物の進入を妨げる一因になると考えられる。

これまでの調査結果を踏まえ、藻類の大量繁茂の抑制策を次に考察する。原因海藻ジュズモ属の一種は低塩耐性に優れ、5psu になってはじめて光合成活性が約半分に低下する。したがって、本運河に雨水由来の淡水を導入することによって塩分を下げ、海藻の増殖を抑制することは困難であろう。さらに、優占藻は乾燥には弱いものの、排水管の位置との関連で、運河内の水をすべて排水することはできない。また、栄養物質(全窒素、全リン)の濃度は環境基準を大きく上回ってはいなかったが、底層水的全窒素濃度は 0.2-1.0mg/L、同じく全リン濃度は 25-50μg/L と貧栄養ではなかった。水温、塩分、光条件などが好適な場合、藻類の増殖量はリンや窒素などの栄養物質濃度によって制限されることが多い。また、優占海藻は緑藻であるので、珪酸塩濃度はこの場合関係しない。図-10 からこの運河において栄養物質のレベルを下げるには、現在の取水口位置を水深 3m 以深に変更することが望ましいと考えられる。景観悪化の原因海藻が、取水口の位置変更によって流入水的全窒素濃度が現在の 50%程度に、全リンで 70-80%になれば、藻類の繁茂量は栄養物質濃度に依存して減少するのではないかと推察される。また、取水口近くの外海の漂流ゴミや赤潮時の植物プランクトンは総じて表層に多く、中下層に向かって減少するが、これらが運河内に大量に流入するのを軽減

表-1 咲洲運河水質の現状と改善目標

評価項目	現状	改善目標	手法	課題
DO	0-15mg/L	6mg/L 以上（水産用水基準） 4.3mg/L 以上（夏季底層最低濃度）		悪天候時の DO 低下
全窒素 全リン	0.23-1.0mg/L（底層・5-10月） 0.11-56mg/L（底層・5-10月）	藻類の増殖を制限できるレベル	取水位置の変更	藻類増殖制限栄養因子の検討
表層 Chl.a	20-80 μ g/L（7月） 10 μ g/L 以下（その他の月）	10 μ g/L 以下に維持 赤潮発生の抑制	海水交換量増加 取水位置の変更	
pH	表層：7.0-8.7 底層：7.0-8.6	7.8-8.4（水産用水基準）	海水交換量増加	
塩分	13-27psu	地点間の差異を低下	海水交換量増加 取水位置の変更	
水深	H=2.5m（橋梁下 H=2.2m）	子供の背丈以下区域の確保	管理水面低下	親水性向上策の検討
透明度	藻類，赤潮の発生により低下	年間を通して底面が見える	取水位置の変更 海水交換量増加	
外観	ごみが水面を浮遊 藻類の浮遊（初夏～晩夏）	浮遊物なし	取水位置の変更	藻類の増殖抑制

することもでき、運河の景観向上につながると思われる。さらに、より多様な生物が生息できる環境にするためにも栄養物質レベルを下げるのが望ましい。

次に、運河内での流速を上げる、すなわち海水交換量を大きくすることを考える。流速の増加は表層を漂流する海藻残渣を減少させるとともに、停滞域が少なくなることから、pHや塩分などの空間的な差異が低下する。また、植物プランクトンの世代時間以内で海水交換が行われればクロロフィルa濃度が運河内で増加（赤潮の発生）することもなく、堆積する微細な沈降粒子量が減少し、底質のヘドロ化も低減されるであろう。さらに、大量降雨時に雨水や地下水が流入してもその影響は短期間で解消することに繋がるのではないかと考えられる。具体的には、運河内の水位を一定に保つことをやめ、浅水化を試みることである。浅水化によって、同じポンプの稼働時間でより多くの海水の交換が可能となる。この場合、浅水化は底面に届く日射量を増加させ、光合成の促進に働くことや降雨時の雨水流入の影響が強く現れる危険性には注意が必要である。現在の約2.5mの維持水面を下げ、1m前後にすることが考えられる（排水ポンプ稼働との関係で約0.5mが限界と考えられている）。浅水化により海水交換率を上げるとは比較的低コストで容易に実現可能な方策であり、また現在の2.5mという水深は大人にとっても安全面で危惧される水深である。学校と大型マンションが運河に面して建設され、運河を散策やジョギングの場として利用する市民の安全を考慮する上でも、浅水化は行なったほうがよいと考えられる。

これらをふまえ、調査結果から得られた咲洲運河

水質の現状と改善目標、および検討した改善手法とそれにおける課題を表-1にまとめた。この他、水表面での海藻残渣の浮遊に起因する景観悪化は水底に原因があったことから、機器による人為的な水底耕耘の他に、底泥を攪拌する底生動物を近隣より集めて放流し、バイオターベーションによって持続的に海藻類が増殖しにくい環境を形成することも有効な一つの方策ではないかと思われる。

謝辞：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ご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) J. D. H. Strickland and T. R. Parsons: *A Practical Handbook of Seawater Analysis*, Fisheries Research Board of Canada, pp.201-203, 1972.
- 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) 千原光雄：海藻 海浜植物，標準原色図鑑全集15，保育社，pp.9-10, 1970.
- 4) Carol M. Lalli and Timothy R. Parsons：生物海洋学入門，講談社サイエンティフィク，pp.101-102, 1996.
- 5) 岡田光正：海域の窒素，リンに関する環境基準について，沿岸海洋研究，Vol.37, No.2, pp.53-58, 2000.
- 6) 城久：大阪湾における富栄養化の構造と富栄養化が漁業生産におよぼす影響について，大阪府水産試験場研究報告第7号，pp.93-95, 1986.
- 7) 松本英二，横田節哉：大阪湾底泥の堆積速度と重金属汚染，日本海洋学会誌，Vol.34, pp.108-115, 1978.