技術報告

マイクロバブルによるナイルデルタの
農業用排水の水質浄化小木曾 凡芳^{*}・^{**}・大石 貴行^{**}・鈴木 祥広^{***}

要 旨

ナイル川下流域のナイルデルタにおける農業排水は、DO濃度が1 mg/L以下であり、有機物汚濁も著しい。そこで、現地にマイクロバブル装置を設置し、水質浄化効果について検討した。運転開始から1時間後には設置場所の下流5 m地点において、DO濃度が6.49 mg/Lに達した。また、流下500 m地点におけるCOD_{Cr}除去率は80%以上であった。マイクロバブル装置の設置によって、水質浄化が期待できる。

キーワード：ナイルデルタ、農業排水、水質浄化、マイクロバブル、溶存酸素

1. はじめに

エジプト国は、その水源をほぼ全面的にナイル河川水に依存している。ナイル川は、国際河川であることから、関係諸国との協議により年間利用可能量を555億 m³と規定されている。近年の大幅な人口増加により、上水、工業用水、農業用水の使用水量も増加し、水資源量が緊迫した状況となっている。特に、ナイル川下流に位置するミドルデルタ地区は、ナイル川上流の排水の影響を受けており、自浄能力も低く、河川の水質汚濁が極めて深刻な状況にある。その様な背景から、限られた水利量の有効利用を促進するために、農業排水の農業用水への再利用が必要となっている。しかしながら、農業排水の水質汚濁の進行が著しく、現状の水質では農業用水やその他の用水への利用は極めて困難である。したがって、エジプト国では、安価で簡便かつ効果的なオンサイト型の農業排水浄化技術の開発が強く望まれている。

エジプト国環境省の水質調査の結果によると、ミドルデルタ地区における農業排水の水質汚濁の主要な汚染物質は、生物由来の有機物である。その事から、農

業排水における有機物除去による水質浄化が、第一に取り組むべき課題である。そこで、河川水や農業排水において処理施設等の建設が不要であり、簡便に設置可能な有機物除去技術として、超効率的な酸素供給が期待できるマイクロバブル装置に着目した。マイクロバブル装置とは、水質浄化に必要な微生物などの活性を高めるために、汚濁排水に酸素を効率的に溶解させる新曝気技術で、気泡の直径が50 μm以下とされている装置である¹⁾。気泡径が従来の分散式曝気法の気泡よりも著しく小さいため、水中における気泡の滞留時間が大幅に長くなり、酸素溶解速度も3倍以上に達することが期待できるとされる²⁾。我が国では、閉鎖性水域（湖沼・湾内）の水質浄化対策としてマイクロバブルの採用事例が多いものの³⁻⁶⁾、河川への適用例は少ない。この理由として、河川の流速が速いため、対象とする流量が膨大となり、その結果として、処理施設が一般的に大規模となり、費用対効果の面で不利になるためと考えられる。しかしながら、本研究で対象とするエジプト国内の河川や農業排水路の流速は小さく、マイクロバブルによる水質浄化が期待できると考えた。そこで、汚濁の進行が著しいナイルデルタの

2014年9月25日受付、2014年11月17日受理

Water Quality Purification for Agriculture Drain in the Nile Delta by the Micro Bubbles

^{*}宮崎大学大学院農学工学総合研究科 OGISO Tsuneyoshi

^{**}(株)三祐コンサルタンツ OISHI Takayuki

^{***}宮崎大学工学部社会環境システム工学科 SUZUKI Yoshihiro

農業排水路を研究対象として、マイクロバブル装置による農業排水の水質改善効果を検討した。

2. 実験方法

2.1 農業排水路の概要

2.1.1 ナイルデルタの農業排水路

図1に、本研究の調査対象としたナイルデルタの位置図と農業排水路の経路図を示す。調査対象の排水路（現地では Drain No.4 と称されている、以降 Drain No.4 排水路と記す）は、エジプトの首都カイロより北約 100 km のカフルエルシェイク県ビヤラ市北部に位置する。カフルエルシェイク県は、ナイルデルタ地域北部の沿岸部に位置し、人口273.9万人（2009年）である。同県の産業は農業を主体とし、主作物の米はエジプト国の3割を生産し、綿工業、漁業、食品加工業も盛んである。対象となるバハルエルヌール地区は、幹線排水路とビヤラ排水路に囲まれた灌漑面積4,200 feddan（約1,720 ha）の農業地帯であり、米、小麦、牧草（ベルシーム）、サトウ大根、綿花等が生産されている⁷⁾。農業および肥料に対する法律はあるものの、違法な成分を含む化学物質が多量に散布され、それによる排水路水質や大気汚染も深刻な問題となっている。カフルエルシェイク県の下水道整備は、エジプト国内の他中小都市と同様に、ほとんど進んでいない状況であり、1,000人程度の集落を対象とした沈殿処理施設が数箇所あるのみで、ほとんどの下水は、未処理のまま農業排水路へ放流されている。同様に、地区内の工場排水は、水量が小さいものの、未処理で農業排水路へ放流されて

いる。

2.1.2 ナイルデルタ地区内の簡易水質調査

浄化実験に先立ち、地区内水路の水質概要を把握するため、図1に示す地区内11箇所の農業用水路・農業排水路について、簡易の水質調査を行った（2009年10月20日）。溶存酸素（DO）は、ポータブル多項目水質計（WQC-24、東亜ディーケーケー）を用いて現場において直接測定した。また、COD_{Mn} と NH₄-N は、採水後、現場で直ちにパックテスト（WAK-COD, WAK-NH₄, 共立理化学研究所）で測定した。

2.1.3 対象農業排水路の水質調査

試験対象とした Drain No.4 排水路の汚濁の進行状況を把握するため、事前に農業排水路の水質調査を図1に示す⑧の位置において、2回調査した（2009年12月28日, 12月31日）。農業排水路の表層水を洗浄済みポリエチレン瓶に採取し、直ちに現地の実験室に持ち帰って分析した。表1に、分析項目と分析方法を示す。

2.2 マイクロバブル装置の概要

写真1に、本研究で用いたマイクロバブルの発生装置の外観を示す。マイクロバブル装置は、マイクロバブル発生ノズルとこれに接続して後方から加圧水を送り込むポンプ、ノズルの側面から空気を吸い込む空気管、および空気・水の混合水を噴出する背圧を支持するための架台によって構成されたタイプを使用した。表2に、マイクロバブル装置の仕様を示す。スペックの異なる3種類（E1～E3）を適時組み合わせて実験した。なお、マイクロバブル装置に接続使用した水中ポンプは、現地で調達したため、実験前に現場で吐出

図1 エジプト・ナイルデルタの位置、ならびに農業用水路と排水路経路

表1 測定項目、測定法、および適用規格

測定項目	測定法	適用規格
pH	ポータブル水質分析計 WTW315i	APHA No.4500 B
電気伝導度 (EC)	ポータブル水質分析計 WTW315i	APHA No.2510 B
水 温	ポータブル水質分析計 WTW315i	APHA No.2550 B
溶存酸素 (DO)	ポータブル DO 分析計 WTW Oxi310i	APHA No.4500 C
濁度 (TURB)	ポータブル濁度分析計 Thermo Scientific, Orion AQ4500	APHA No. 2130 B
浮遊物質 (SS)	ガラス繊維ろ紙法	APHA No.2540 D
全窒素 (TN)	ケルダール分析法	4500-N C. (APHA, 1998)
アンモニア態窒素 (NH ₄ -N)	ケルダール分析法	APHA No.4500 B
亜硝酸態窒素 (NO ₂ -N)	イオンクロマトグラフ法 Agilent Technology	APHA No.4500-No.3 C
硝酸態窒素 (NO ₃ -N)	イオンクロマトグラフ法 Agilent Technology	APHA No.4500-No.3 C
全リン (T-P)	アスコルビン酸還元法 HACK, DR-2010	APHA No.4500 F
生物学的酸素要求量 (BOD)	ウィンクラーアジ化ナトリウム変法	APHA 2005-5220,D,C
化学的酸素要求量 (COD)	重クロム酸カリウム法 HACK, DR-2010	APHA 2005-5210,D
全有機炭素 (TOC)	Analytikjena, Multi N/C-3100	APHA 2005-5310,B,D
大腸菌群数	M-Endo 培地法	APHA No. 9222B & 9222D

写真1 実験に利用したマイクロバブル装置

写真2 Drain No.4排水路における実験風景
(右下がビニールシートによる仮設水路である)

表2 マイクロバブル装置のスペック

装置名	型 式	ポンプ 吐出量 (L/min)	最大空気 供給量 (L/min)	電力消費量 (KWh)
E1	YJ21*	500	100	3.7
E2	YJ21*	430	100	3.7
E3	YJ15*	180	50	1.5

*カジマクアテック製 (現・エンバイロ・ビジョン製)

量を測定した。

2.3 予 備 実 験

農業排水路におけるマイクロバブル装置の設置状況の確認および装置の台数と水質変化の相関を把握するため、図1に示す⑧の位置において、条件の異なる3

回の予備実験を実施した。写真2に、農業排水路におけるマイクロバブル装置の設置状況を示す。また、図2にNo.4排水路及び仮設水路の断面図を示し、その諸元を表3に示す。予備実験①は、図2に示す幅18.5 mの水路の中心にマイクロバブル装置を設置し、予備実験②及び③は、図中左側に設置した仮設水路内にマイクロバブルを設置して実験を行った。仮設水路は、上下流端とも開放されており、排水路本流の水を上流端において流入させ、下流端で放流する形式とした。仮設水路は全長1,000 mに設置した。

予備実験①：農業排水路内にマイクロバブル装置を設置し、農業排水路全体の流量に及ぼすマイクロバブル

図2 Drain No.4排水路と仮設水路の断面

表3 実験水路の諸元

	幅 (m)	水深 (m)	断面積 (m ²)	流量 (m ³ /s)	流速 (m/s)
Drain No.4	18.5	2.0	33.5	7.00	0.21
仮設水路	0.6	0.25	0.07	0.032	0.46

仮設水路断面寸法は厳密には一定でなく、場所によって若干異なる。

装置運転の効果を検証した。使用したマイクロバブル装置は、E1～E3の3台であり、ポンプ合計吐出量1,110 L/min、空気供給量250 L/minである。

予備実験②：図2に示す仮設水路において、所定の流量に対するマイクロバブル装置運転の効果を検討した。使用したマイクロバブル装置は、E1とE2の2台であり、ポンプ合計吐出量930 L/min、空気供給量200 L/minである。

予備実験③：マイクロバブル装置の設置台数を検討するため、仮設水路において、E1のマイクロバブル装置を運転し、E2の空気供給を停止、ポンプのみを運転し、ポンプ吐出量930 L/min、空気供給量100 L/minとした。

2.4 農業排水路の浄化実験（本試験）

農業排水路全体および流量制御の可能な仮設水路において、E1とE2の2台のマイクロバブル装置を運転し、実験を実施した。実験位置は、予備実験と同様に図1に示す⑧の位置である。ポンプ吐出量930 L/min、空気供給量200 L/minである。実験途中において、マイクロバブル装置の設置地点から下流600 m付近で仮設水路の一部が崩れ、仮設水路のシート外に漏れ出した水と排水路水が混合していることが確認された。そこで、マイクロバブル装置の設置地点から下流の500 m地点に至る各地点（0 m、5 m、50 m、200 m、500 m）を観測点とした。そしてDO、COD_{Cr}、SS、TNと無機態窒素の水質項目について、運転を開始してから時系列的（0.5、1、2、3 hr）にモニタリング

を実施し、各項目の変化からマイクロバブルによる農業排水路の水質浄化について評価した。

3. 結果と考察

3.1 地区内の各農業排水路の水質

表4に、地区内の簡易水質試験の結果および農業用水基準を示す。ここで示すCOD値は、日本のバックテストによる概略調査であることから、COD_{Mn}として示す。①～④は灌漑用水路、⑤～⑪は農業排水路であ

表4 地区内の水質試験結果

番号	水路名称	バックテスト		簡易水質計
		COD _{Mn} * (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	DO (mg/L)
①	Bahr El Nour Canal	12	0.8	4.34
②	Irrigation Canal to Drain No.4	12	0.8	—
③	Irrigation Canal to Drain No.4	18	0.7	—
④	Intake of Bahr El Nour Canal	4	0.3	—
⑤	Branch Canal to Bahr El Nour Drain	18	0.2	—
⑥	Branch Canal to Bahr El Nour Drain	13	0.2	—
⑦	Bahr El Nour Drain	70	0.7	—
⑧	Drain No.4	30	8	0.02
⑨	Drain from Biyala	30	3	—
⑩	Drain No.4	—	—	0.03
⑪	Drain No.4	—	—	0.18
水稻用農業用水基準(日本)		6	(0.5)**	5
エジプト国農業用水基準		6	—	5

* 日本で採用されているCOD値であるCOD_{Mn}で表示した。エジプト国農業用水水質基準⁸⁾のCODは、COD_{Cr}及びCOD_{Mn}によって規定されており、表中はCOD_{Mn}の基準値である。

** 参考値⁹⁾。

る。図1に示すように、灌漑用水路と農業排水路は、完全に分離されているにもかかわらず、灌漑用水路の水質においてもCOD_{Mn}の高い地点があった。地区内の農業用水取水始点となる④においては、COD_{Mn}が4 mg/Lと低かったものの、約7 km流下した①においてはCOD_{Mn}が12 mg/Lとなり、3倍に増加している。この数値は、すでにエジプト国における農業用水水質基準(COD_{Mn} ≤ 6 mg/L)を満たしていない状況であった。また、NH₄-N濃度も灌漑用水路において0.7~0.8 mg-N/Lであり、日本の農業用水基準(NH₄-N ≤ 0.5 mg/L)と比較すると高い。灌漑用水路水質のNH₄-N濃度は0.8 mg-N/Lとなっており、周辺集落からの尿尿を含む生活排水の流入が考えられる。

一方、農業排水路の水質において、COD_{Mn}は13~70 mg/Lであり、我が国の一般的な家庭汚水に匹敵する値が検出されている。DO値も極めて低く、ほぼ無酸素環境であった。また、Drain No.4のNH₄-N濃度は、8 mg-N/Lとなっており、家畜排水あるいは尿尿の混入も考えられる。農業排水路は、農業利用および家庭排水の流入によって汚濁の進行が著しいことがわかった。

3.2 実験対象農業排水路の水質

表5に、研究対象とした農業排水路における水質調査の結果とエジプト国における農業排水水質基準値の抜粋を示す⁸⁾。最重要項目となるDOは、2回のいずれの調査においても0.1 mg/L以下で、ほぼ無酸素の状態であり、エジプト国農業用水水質基準を大幅に下回った。COD_{Cr}は、調査日によってバラつきがある

ものの基準値15 mg/L以下に対し、44 mg/Lの大幅超過値が確認された。また、SSも14 mg/Lと45 mg/Lとなっており、懸濁性の有機物濃度が高いことがわかった。また、TNのほとんどをNH₄-Nが占めており、その濃度も5.0 mg-N/Lと非常に高かった。この農業排水路は、上流都市部の工場排水および生活排水の影響も受けているが、恒常的に農業排水路へ生ごみや尿尿が直接投棄されており、調査結果のような著しい汚濁の原因となっている。なお、ECは1,800 μS/cm程度となっており、沿岸部より40 km程度離れている事もあり、農業排水路における塩水化の影響は少ないことがわかった。

3.3 マイクロバブル装置の運転状況（予備試験結果）

予備実験①において、現況の農業排水路にマイクロバブル装置3台を直接設置した場合には、DO供給の効果はほとんど認められず、原水の0.05 mg/Lが設置箇所下流5 mの位置において0.13 mg/Lに上昇するのみであった。農業排水路流量(7.0 m³/s)に対して、マイクロバブル装置の能力(0.1 m³/s)が大幅に不足したため、DOの上昇はそれほど期待できないことがわかった。そこで、予備実験②において、流量を制御した仮設水路内(1.00 m³/min)において、マイクロバブル装置を2台設置し、DO変化を調べた。その結果、マイクロバブル装置設置箇所下流の5 m地点において、0.1 mg/L以下となっていた原水DOが6.45 mg/Lに大幅に上昇し、50 m地点では5.43 mg/Lとなった。さらに下流の200 m地点においても原水と比較して大幅なDOの上昇が見られ、4 mg/L以上で維持された。仮設水路において流量を制御し、マイクロバブル装置を2台設置することによって、仮設水路内のDO値はエジプト国水質基準(DO ≥ 5 mg/L)を上回り、流下に従い低下する状況が確認された。このときの農業排水流量に対するマイクロバブル供給量の比(気液比)は、0.1(マイクロバブル供給量:農業排水流量=0.20 m³/min:1.93 m³/min≒0.1)である。さらに、予備実験③として、予備実験②と同一の流量条件において、マイクロバブル装置を1台に減らして運転した。その結果、マイクロバブル装置下流部の5 m地点にてDO値が4.3 mg/Lまで上昇した。しかしながら、マイクロバブル装置1台の運転(気液比0.05)では、DO値はエジプト国水質基準を満たすことはできなかった。以上の予備実験の結果から、浄化実験では、マイ

表5 当該実験地点における排水の代表水質

	12.28	12.31	水質基準値*
温度 ℃	15.1	17.0	≥ 5
pH	9.62	7.46	7~8.5
EC μS/cm	1,752	1,827	—
DO mg/L	0.1	0.06	≥ 5
COD _{Cr} mg/L	12	44	≤ 15
SS mg/L	14	45	≤ 500
NH ₄ -N mg/L	5.005	4.697	—
TN mg/L	5.085	4.967	—
ORP mg/L	90.0	80.0	—
NO ₂ -N mg/L	0.03	0.03	—
NO ₃ -N mg/L	0.05	0.24	—

*水質基準値は、エジプト国内の水質基準値であり、国内法(Law48 Article65)に規定される⁸⁾。

クロバブル供給量を0.1に設定することにした。

3.4 マイクロバブル装置による水質改善効果 (本試験結果)

表6に、仮設水路におけるマイクロバブル運転開始前 (曝気前) の主要水質を示す。マイクロバブル装置の設置台数は2台とし、流量を調節して気液比を0.1に設定した。そして、設置地点から下流500 mに至る水路内の水質変化を時系列的にモニタリングした。試験期間中の水温は15.2~18.7℃, pHは7.50~8.10の範囲であり、流下に伴って徐々に上昇する傾向を示した。ECは1,681~1,975 $\mu\text{S}/\text{cm}$ の範囲で変動した。

図3に、運転開始後の各所定時間における設置地点から下流500 m至る水路内のDOの変化を示す。また、運転開始前のDOは、0.1~0.5 mg/Lとなっており、ほぼ無酸素状態であった。しかしながら、運転開始してから0.5時間以降には5.5 mg/L以上に上昇し、下流の200 mに至るまで4 mg/L以上のDOを保持した。

表6 マイクロバブル運転開始前の主要水質
(mg/L)

距離	0 m	5 m	50m	200m	500m
DO	0.1	0.35	0.49	0.3	欠損
COD _{Cr}	12	11	13	15	欠損
SS	14	10	14	11	9
TN	5.09	5.57	6.55	7.48	4.93
NH ₄ -N	5.01	5.49	6.47	7.40	4.62
NO ₂ -N	0.03	0.03	0.03	0.03	0.15
NO ₃ -N	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

図3 運転開始後の各所定時間における水路内のDOの変化

マイクロバブル装置の運転によって、仮水路内に酸素が効果的に供給され、DOを高濃度に維持できることが明らかとなった。本実験のDO改善に係る所要エネルギーを試算すると、対象水量930 L/min, DO上昇濃度5 mg/L, 電動機出力7.4 KWhであることから、26.5 KWh/O₂kgとなる。これは、流水での実験であったこと、水深が浅いこと、CODが高いことなどに起因し、一般的な所要エネルギーに比較して、非効率となっている。一般的には、水質、水深、温度により大きな幅があるものの、マイクロバブルは、通常曝気の粗大気泡と比較して、約1/2の所要エネルギー (KWh/O₂kg) であり¹⁰⁾、通常曝気と比較して経済的であるとされている。

図4に、運転開始後の各所定時間における設置地点から下流500 mに至る水路内のCOD_{Cr}の変化を示す。本試験中におけるCOD_{Cr}の変動は、原水のCOD_{Cr} 10 mg/L程度が流下5 m地点において1~2 mg/Lまで低下した。原水のCOD_{Cr}が低い場合には、マイクロバブル装置の運転によって効率的にCOD_{Cr}が除去されることがわかった。マイクロバブル運転後、1時間までは、緩やかにCOD_{Cr}が減少しているものの運転開始後2時間以降は、曝気して約10秒後 (5 m) の流下時間でCOD_{Cr}が急激に減少した。仮設水路をビニルシートにより設置したために、完全な押し出し流れとはならず、部分的な滞留による影響も考えられる。微生物による有機物の分解速度は、DOと密接な関係があり、微生物の増殖速度は、DOが0.1 mg/Lから5 mg/Lに上昇すると、約10倍になるとの報告がある¹¹⁾。

図4 運転開始後の各所定時間における水路内のCOD_{Cr}の変化

しかしながら、有機物の微生物分解には、少なくとも数時間は必要であることから、本実験の結果は、好気性微生物による分解の他に、鉄、マンガン等の還元性無機物の酸化、有機物の酸化が生じたのではないかと考えられる。また、周辺の農地においては、日本の規制対象となっている農薬も多量に散布されていることから、それが底泥付近に堆積し、それに含まれる揮発性有機物が曝気によって大気へ拡散されたとも考えられる。本試験結果から、マイクロバブル装置によるDOの供給によって、農業排水中のCOD_{Cr}が除去できることが確認された。COD_{Cr}に対するコストについても、COD_{Cr}の除去は、概ねDOの供給量に比例する事から、従来の粗大気泡に比べ、約1/2の投入動力となると考えられる。

図5に、運転開始後の各所定時間における設置地点から下流500 mに至る水路内のSSの変化を示す。流下に伴って徐々にSS濃度が減少していく傾向が認められたものの、除去の程度は低い。また、曝気前よりも試験中の方がSS濃度は高くなっており、SSの処理性については評価が困難であった。

マイクロバブル装置による酸素供給によって、NH₄-Nの硝化も期待された。そこで、運転開始2時間後における下流の各地点におけるTNとNH₄-NならびにNO₃-NとNO₂-Nの変化を比較した(図6)。TNとNH₄-Nは濃度も挙動もほぼ一致しており、農業排水路ではTNのほとんどをNH₄-Nが占めていることがわかった。NH₄-Nの変動があるものの、5.00 mg-N/Lから3.47 mg-N/Lに低下した。一方のNO₃-N

図5 運転開始後の各所定時間における水路内のSSの変化

図6 運転開始2時間後における水路内の各態窒素の変化

は0～200 mまでは極低濃度であったが、流下500 m地点では少し上昇した。NO₂-Nは0.03 mg-N/Lの極低濃度で一定であった。なお、その他の所定時間におけるTNとNH₄-NならびにNO₃-NとNO₂-Nの変化も、図6と同様の挙動を示した。したがって、農業排水に酸素が供給されたことによって、わずかではあるが硝化が進行しつつある状況が確認された。しかしながら、本研究で対象とした水路内の流下時間は約20分(500 m)であり、硝化に十分な反応時間が確保できなかったと考えられる。

3.5 マイクロバブルの効果と今後の課題

マイクロバブル装置の運転のポイントは、農業排水流量に対するマイクロバブル量の設定である。実際の農業排水路において、排水量に対するマイクロバブルの曝気量の気液比を0.1に設定し、運転することによって、0.1 mg/L以下であったDOが30分後には、5.5 mg/Lまで上昇した。マイクロバブル装置の運転によって、設置箇所から下流の200 mに至る広範囲の水路において、DO濃度の改善が確認された。本研究において、マイクロバブル装置は、ナイルデルタの汚濁負荷の著しい農業排水路のDO濃度改善とCOD_{Cr}除去において効果的であることが実証された。

しかしながら、コストから評価すると大流量に対する農業排水路への適用は、初期投資や電気代等の維持管理などの費用と農業収入のバランスが課題となる。マイクロバブル装置は、設置条件の制限を受けず、容易に設置・運転することが可能であるため、現地向けの小規模排水路や排水滞留部に適用できる。装置の素

材はステンレスではなく鋼材製のものを現地生産できれば、建設費も安価となり、適用の可能性がさらに高まる。また、休耕地を利用した土壌浄化方式、スクリーニング、沈殿処理などを組み合わせた上で適用すれば、総合的に安価な水質浄化施設とすることが可能である。マイクロバブルによる処理水は、農業利用することによって、単収量の増加、成長期間の短縮、品質の向上に期待できるとの報告もある^{12, 13)}。農業排水路のマイクロバブル処理排水をナイルデルタに適した高付加価値作物に用水として再利用することができれば、生産性や品質の向上、すなわち農業収益の向上を図ることが期待できる。

4. ま と め

本研究では、汚濁の進んだナイルデルタの農業排水路の水質浄化を目的とし、現地にマイクロバブル装置を設置した仮設水路を構築し、水質改善効果を検討した。農業排水路の流量に対するマイクロバブルの曝気量（気液比）を0.1に設定して運転を行った結果、以下の知見を得た。

- (1) DO 1.0 mg/L 以下であった極低酸素の原水は、マイクロバブル装置設置箇所の下流近傍（5 m）において5.5 mg/L 以上に改善され、COD_{Cr}の除去に利用されつつも流下200 m地点以降も4.0 mg/L 以上に保持された。
  - (2) COD_{Cr} 10 mg/L 程度の原水に対して、マイクロバブルの曝気によって短時間で1～2 mg/L レベルまで低減できた。
  - (3) 構築した仮設水路では、酸素供給によるNH₄-Nの硝化はそれほど期待できない。これは、十分な硝化に要する時間を確保できないためと考えられる。
- 以上のことから、ナイルデルタにおけるマイクロバ

ブルの適用は、DO および COD_{Cr} の水質改善に有効であり、その他の処理方式を総合的に組み合わせて農業排水路の水質改善に利用できる可能性が高い。

参 考 文 献

- 1) 大成博文, 都並結依, 大成博音, 山本孝子; マイクロバブルの発生機構と収縮特性, 水工学論文集, **50**, 1345-1350, 2006.
- 2) 山田哲史, 天野誉之, 南川久人; 微細気泡群の分布と水への酸素供給効果との関係に関する研究, 日本機械学会論文集 (B編), **71**, (705), 1301-1306, 2005.
- 3) 今井剛, 浮田正夫, 関根雅彦, 樋口隆哉; 閉鎖性水域における底層部への高濃度酸素水導入による水質改善効果に関する研究, 環境工学研究論文集, **41**, 635-643, 2004.
- 4) 佐々木洋之, 佐々木淳, 武田真典, 岡野崇裕, 足立有平; 閉鎖性水域におけるマイクロバブル発生装置を用いた溶存酸素供給効果の把握, 海岸工学論文集, **53**, 1171-1175, 2006.
- 5) 南川久人, 道奥康治, 山田哲史, 安田孝宏; 酸素マイクロバブルを用いた貯水池深層曝気実験における水質改善効果の検討, 実験力学, **10**, (1), 39-44, 2010.
- 6) 道奥康治; 閉鎖性水域における環境負荷軽減のためのマイクロバブル技術, 日本海学会誌, **64**, (1), 24-30, 2011.
- 7) (独)国際協力機構 (JICA)・(株)三祐コンサルタンツ; エジプト・アラブ共和国環境プログラム無償 (水関連技術) 準備調査報告書, 2-23-36, 2013.
- 8) Set of Laws and Decrees on Protection of the river Nile against pollution & drainage of liquid wastes, The middle east library for economic services, 51-56, 2009.
- 9) 田淵俊雄; 農業土木技術者のための水質入門, (社)農業土木学会, 1987.
- 10) (社)日本下水道協会; 下水道施設省資源省エネルギーマニュアル (案), 66, 1982.
- 11) 鶴飼信義, 依田亨; 自然浄化処理技術の実例, 他人書簡, 23, 1998.
- 12) 梨子木久恒; ナノバブル農業の可能性, 微細気泡の最新技術, エヌ・ティー・エス, 58-70, 2006.
- 13) 合屋善之, 小林伸行, 瀬尾佑香, 大本利幸, 木全教泰, 高橋徹, 小木曾凡芳, 工藤俊徳, 畑明彦, 平野幸子, 志水勝好; エジプト, ナイルデルタ排水路マイクロバブル実証試験におけるマイクロバブル灌漑水が作物の生育に及ぼす影響, 日本熱帯農業学会第108回講演会要旨, 81-82, 2010.