

諫早湾干拓調整池等における有機物特性 — 難分解性有機物の実態把握 —

陣野 宏宙、浦 伸孝、山内 康生

諫早湾干拓調整池及びその流域河川等における有機物特性の把握を目的として、長期生分解試験を実施した。その結果、全ての検体で概ね 100 日目までに TOC 濃度の減少が収まることが確認できた。難分解性 TOC 割合は 36~81 % であり季節間で変動があったが、調整池と流域間では有意な差は無かった。形態別では、難分解性溶存態有機炭素 (DOC) と比べて難分解性懸濁態有機炭素 (POC) の変動が大きかった。易分解性 POC 濃度とクロロフィル a 濃度、難分解性 POC 濃度と SS の相関が高いことから、植物プランクトンは比較的易分解な有機物であり、巻き上げられた底泥や流域から流入する懸濁物質は比較的難分解な有機物であることが示唆された。

キーワード: 諫早湾、調整池、難分解性有機物

はじめに

近年、琵琶湖をはじめとする国内の多くの湖沼において、流域対策等の実施による流入負荷の減少にもかかわらず、湖内の有機物濃度は漸増あるいは横ばいで推移する傾向にある。その原因のひとつとして、微生物では分解されにくい有機物である難分解性有機物の増加が指摘されている^{1,2,3,4)}。

諫早湾干拓調整池(以下「調整池」という。)においても、COD の漸増はみられないが、その値はほぼ横ばいで推移し、環境基準値(5 mg/L)を上回った状態が続いている⁵⁾。原因のひとつとして内部生産の増加と難分解性有機物の蓄積を考慮する必要があるが、調整池における難分解性有機物の調査事例はほとんど無く、その実態は不明である。

本研究は、今後の有機汚濁の削減にむけた適切な施策につなげるため、調整池及びその流域の有機物特性の実態把握を目的に行っている。今回はその中でも難分解性有機物濃度及び割合の把握のために実施した生分解試験の結果を中心に報告する。

調査内容

1 調査地点

調査は調整池内 2 地点(B1、B2)、流域河川 3 地点(境川、本明川、有明川)及び樋門 2 地点(釜の鼻西樋門、山田 2 号樋門)の計 7 地点で実施した(図 1)。なお、樋門のある流域は農地割合が 70 % 以上を占めており、樋門は面源負荷を把握できるポイントとなっている。

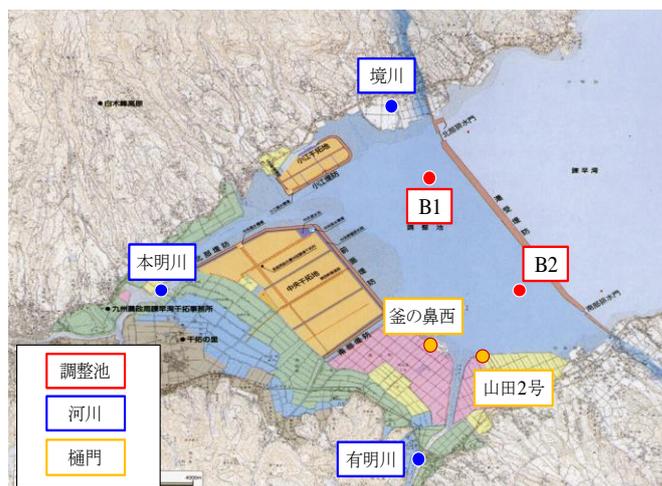


図 1 調査地点

2 調査方法

(1) 試料採取

試料採取はステンレスバケツ及びステンレスロートを使用し、サンプル保存は事前に 450 °C、4 時間強熱したガラス容器を使用した。なお、試料採取は年 4 回(5 月、8 月、11 月、2 月)実施した。

(2) 分析項目及び方法

有機物の指標としては、有機炭素の量を直接測定する TOC(全有機体炭素)を用いた⁶⁾。

有機物濃度の測定は、事前に 450 °C、4 時間強熱したガラス繊維ろ紙(Whatman GF/B、公称孔径 1.0 μm)で試料をろ過し、ろ液中の溶存態有機炭素(DOC)とろ紙上に捕捉された懸濁態有機炭素(POC)に分けて分析した。DOCは全有機体炭素計(島津製作所 TOC-L)で、

POC は有機微量元素分析装置 (Perkin Elmer PE2400 II) で測定した。なお、DOCとPOCの和を全有機体炭素(TOC)とした。

また、一般的な水質項目である水温、pH、透視度、SS、DO、Cl⁻、COD、D-COD、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N、D-T-N、T-N、PO₄-P、D-T-P、T-P、クロロフィル a に関しても、環境庁告示、日本工業規格 0102 及び海洋観測指針で定める方法によってあわせて分析を行った。

(3) 生分解試験

生分解試験には、事前に 450 °C、4 時間強熱した 5 L のホウケイ酸ガラス容器(DURAN)を使用し、PTFE メンブレンフィルター(孔径 0.2 μm)付のキャップで密栓した。容器に試水約 4.5 L を入れ、20 °C、暗条件下でマグネチックスターラーを使い常時攪拌し生分解試験を行った。

生分解試験中の DOC、POC 分析は 20 日ごとに行い、試験は 120 日目まで実施した。なお、試験期間中に実験室雰囲気等からの有機物の汚染の有無を確認するため、超純水によるブランク試験を行ったが、測定結果は定量下限程度の値であり、試料中の TOC 濃度と比べて十分に低かったことから、ブランク補正は行わないこととした。

結果及び考察

1 一般項目の分析結果

(1) 形態別有機物濃度

調整池等における有機物濃度・形態別割合の内訳を表 1 に示す。河川及び樋門における DOC:POC はそれぞれ約 3:2、1:1 であるのに対し、調整池の DOC:POC は約 2:3 と POC が DOC を上回っている。一般的に止水域では DOC が POC よりも 5~10 倍以上高いことが知られているが⁷⁾、それと比べて調整池は懸濁態有機物の割合が大きい。この原因としては植物プランクトンの増殖や底泥の巻上げ、流域からの懸濁粒子の流入といったことが考えられる。特に調整池はクロロフィル a 濃度の年平均値(平成 27 年度、40 μg/L)⁸⁾が同程度かそれ以上の湖沼である霞ヶ浦(42 μg/L)⁹⁾、印旛沼(102 μg/L)¹⁰⁾と比べて SS が 2 倍以上高くなっており(調整池、霞ヶ浦、印旛沼についてそれぞれ 78 mg/L⁸⁾、16 mg/L⁹⁾、36mg/L¹⁰⁾)、他の湖沼と比べると、植物プランクトンの増殖よりも底泥の巻上げや流域からの懸濁粒子の流入による影響が大きいと考えられる。

(2) 重回帰分析

ここでは TOC 濃度と他の一般項目との関係を考察す

る。方法としては TOC 濃度を従属変数、他の一般項目(SS、T-N、T-P、クロロフィル a)を独立変数とする重回帰分析(ステップワイズ法)を試みた。なお、独立変数間の相関係数を表 2 に示す。T-P は SS 及びクロロフィル a と 1 % 有意水準で相関があり、多重共線性を回避するために独立変数から除外した。重回帰分析の結果は表 3 のとおりである。独立変数として T-N が除外され、TOC (mgC/L) = 0.033 × SS(mg/L) + 0.045 × クロロフィル a(μg/L) + 1.508 という重回帰式が得られた。この結果から底泥の巻上げや、流域から流入する懸濁粒子と内部生産により増殖する植物プランクトンが、調整池等の有機物濃度に影響を与えていることが示唆された。

2 長期生分解試験

(1) 生分解日数

5 月に採取した試料の生分解試験結果の一部を図 2 に示す。全ての検体で概ね 100 日目までに TOC 濃度の減少が収まることが確認できたことから、生分解 100 日後に残存する有機物を難分解性有機物と、生分解 100 日目までに分解される有機物を易分解性有機物と定義した。

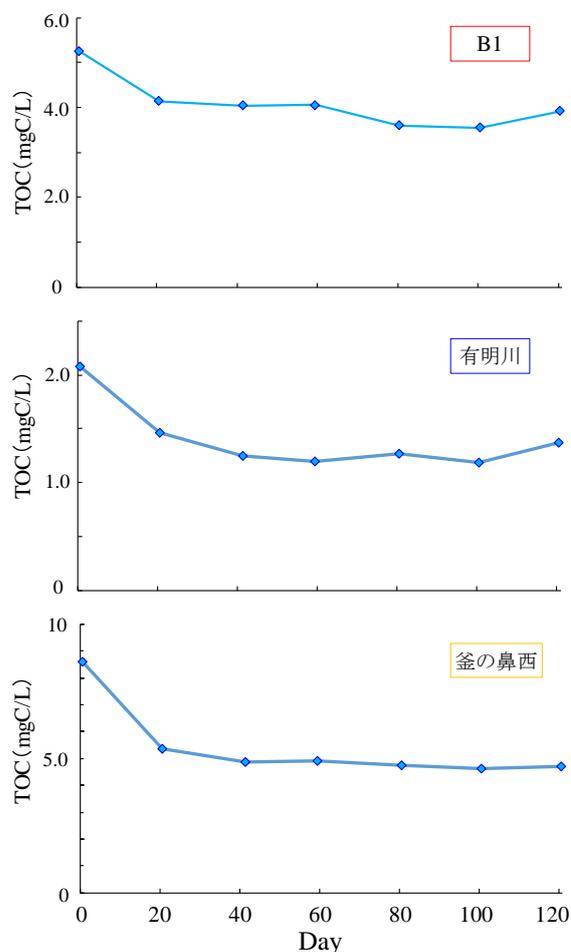


図2 生分解試験結果(5月)

表1 有機物濃度・形態別割合 (年平均値, n = 4)

	調整池		河川			樋門	
	B1	B2	境川	本明川	有明川	釜の鼻西	山田2号
DOC (mgC/L)	2.16	2.02	0.59	1.34	1.46	3.55	1.53
POC (mgC/L)	3.58	4.22	0.23	1.00	0.84	3.76	2.05
溶存態割合 (%)	38	34	74	61	61	49	46
懸濁態割合 (%)	62	66	26	39	39	51	54

表2 独立変数間の相関係数

	SS	T-N	T-P	クロロフィル a
SS				
T-N	-0.2919			
T-P	0.6425**	0.0990		
クロロフィル a	0.4127*	-0.1176	0.4884**	

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$

表3 重回帰分析結果

変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数
(定数)	1.508	
SS	0.033	0.607**
クロロフィル a	0.045	0.441**
調整済みR ²	0.768**	

** : $p < 0.01$

(2) 難分解性有機物濃度・割合

難分解性有機物濃度及び割合を図3に示す。調整池における難分解性 TOC 濃度は平均 3.29 mgC/L (SD = 0.56 mgC/L, n = 8)であった。難分解性 TOC 割合は、調整池で 36 ~ 81 %、河川で 28 ~ 69 %、樋門で 35 ~ 71 %であり、調整池、河川、樋門間で有意な差はなかった($p > 0.05$; Tukey-HSD)。季節別にみると、TOC 濃度が高い月(調整池:11,2月、河川:8月、樋門:5,8月)は難分解性 TOC 割合が比較的低下している傾向がみられた。

形態別にみると、難分解性 DOC 割合は 33 ~ 84 %、難分解性 POC 割合は 16 ~ 86 %であり、難分解性 DOC 割合の変動の方が小さかった。特に調整池の難分解性 DOC 濃度は 1.25 mg/L ~ 1.72 mg/L、難分解性 DOC 割合も 62 ~ 84 %の範囲で推移しており、変動が小さいことがわかる(図4)。一方、調整池の難分解性 POC 濃度は 1.30 mg/L ~ 2.57 mg/L、難分解性 POC 割合は 25 ~ 79 %の範囲で推移しており、季節ごとの変動が大きかった(図5)。この傾向は琵琶湖¹⁾や河北潟⁴⁾などの他の湖沼でも同様である。

難分解率の変動が大きい POC と一般的な水質項目との関係を調べたところ、易分解性 POC 濃度はクロロフィル a 濃度と強い相関($r = 0.777, p < 0.01$)があり、また、難分解性 POC 濃度は SS と強い相関($r = 0.967, p < 0.01$)があった(図6)。つまり、植物プランクトンは比較的易分解な有機物であり、流域から流れ込む懸濁物質や巻き上げられた底泥は比較的難分解な有機物であると考えられる。しかし、クロロフィル a 濃度と難分解性 POC 濃度にも弱い相関($r = 0.455, p < 0.05$)があり、植物プランクトン分解物の一部が難分解性有機物として残存し

■ 難分解性TOC濃度 (mgC/L) ■ 易分解性TOC濃度(mgC/L) ● 難分解性TOC割合 (%)

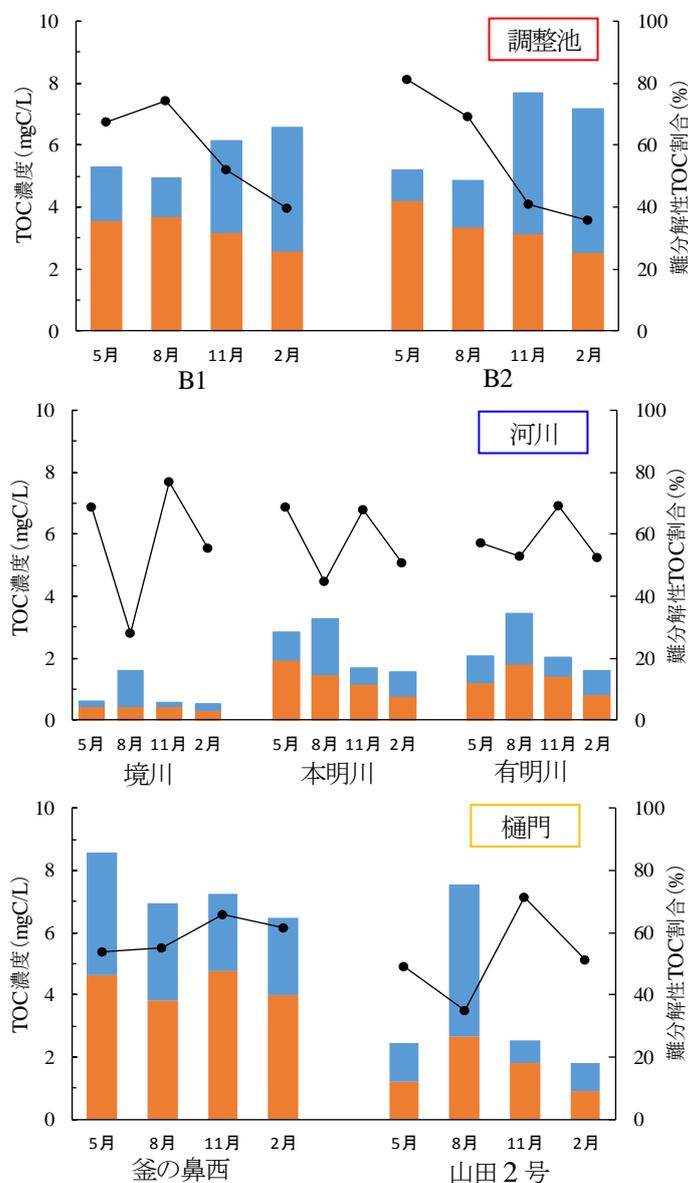


図3 難分解性 TOC 濃度・割合

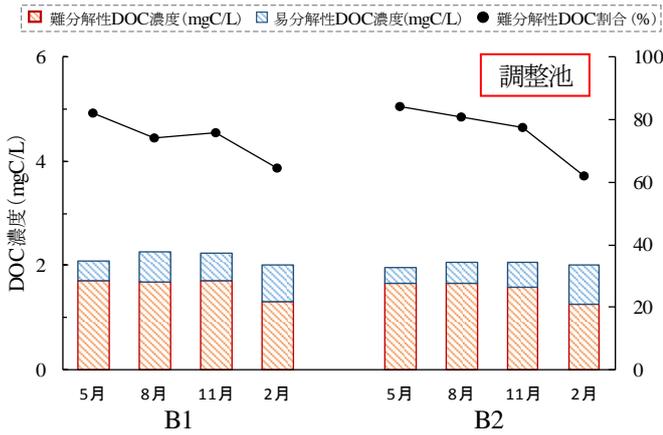


図4 難分解性 DOC 濃度・割合(調整池)

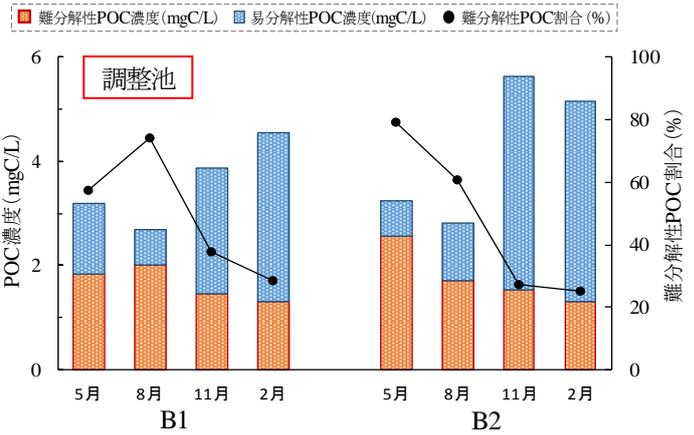


図5 難分解性 POC 濃度・割合(調整池)

ていることも考えられた。なお、花町ら¹¹⁾は霞ヶ浦で採取した植物プランクトンの生分解試験から、藍藻 *Microcystis spp.*及び珪藻 *Melosira spp.*の生分解 120 日後の POC 残存率が 13~33 %であることを報告している。また、古田ら¹²⁾は琵琶湖から採取した緑藻 *Staurastrum arcticon.*の生分解試験を実施し、生分解試験 200 日後の POC 残存率が 31 %であることを報告している。

内部生産が活発なときは有機物(TOC)濃度の上昇が見られるが、植物プランクトンは比較的易分解性であるため、難分解性 TOC 割合は低くなる傾向にある。表 4 にクロロフィル a 濃度の分析結果を示す。クロロフィル a 濃度が最も高い月(調整池:2 月、河川:8 月、釜の鼻西樋門:5 月、山田 2 号樋門:8 月)のデータを黄色で着色しているが、これらの月におけるそれぞれの地点の難分解性 TOC 割合は比較的低下していることが図 3 から読み取れる。

まとめ

本研究では調整池及びその流域の有機物特性の実態把握を目的に長期生分解試験を行った。有機物濃度の減少が収まる生分解後 100 日目に残存する有機物を難分解性有機物と定義したところ、調整池の難分解性 TOC 濃度は平均 3.29 mgC/L (SD = 0.56 mgC/L, n = 8)、難分解性 TOC 割合は 36 ~ 81 %であった。

易分解性 POC 濃度とクロロフィル a 濃度、難分解性 POC 濃度と SS には強い相関があったことから、植物プランクトンは比較的易分解な有機物であり、流域から流れ込む懸濁物質や巻き上げられた底泥は比較的難分解な有機物であると考えられた。しかし、クロロフィル a 濃度と難分解性 POC 濃度にも弱い相関 ($r = 0.455$, $p < 0.05$) があり、植物プランクトン分解物の一部は難分解性有機物として残存する可能性も示唆された。

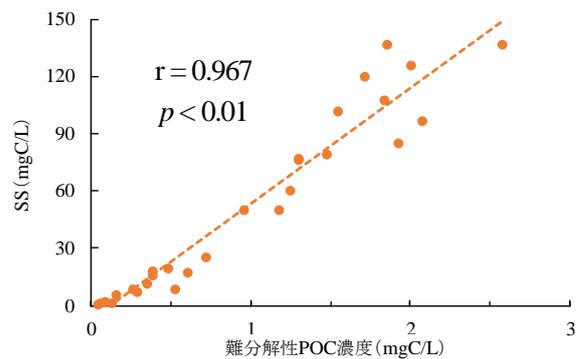
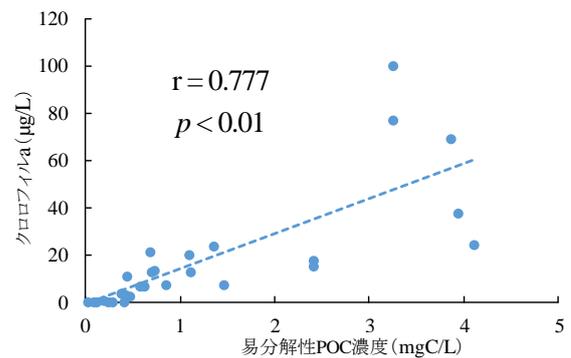


図6 難・易分解 POC との相関

表4 クロロフィル a 濃度 (µg/L)

	調整池		河川			樋門	
	B1	B2	境川	本明川	有明川	釜の鼻西	山田2号
5月	24	21	<0.5	11	3.0	100	13
8月	13	13	3.5	20	6.7	17	37
11月	15	24	<0.5	0.9	<0.5	7.3	0.5
2月	77	69	<0.5	0.5	4.2	7.4	6.7

今回は難分解性有機物濃度及びその割合の把握といった量的な評価を行ったが、今後は有機物の分光学的特性(紫外吸光度、三次元蛍光スペクトル法等)や物理学的特性(脂肪酸分析等)の違いを利用した難分解性有機物の起源推定に関する研究を行い、調整池等における難分解性有機物特性についてより詳細に把握していく予定である。

なお、本研究は経常研究「内部生産低減による淡水系閉鎖性水域の水質浄化に関する研究(平成 28、29 年度)」として実施した調査の平成 28 年度データをまとめたものである。

参 考 文 献

- 1) 日下部 武敏ほか:琵琶湖北湖における天然有機物(NOM)の分解特性, EICA, 17(2・3), 102-111, (2012)
- 2) 岡本 高弘ほか:難分解性有機物を含めた有機物による琵琶湖の水質汚濁メカニズムについて, 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター研究報告書, 5, 25-35, (2009)
- 3) 一瀬 諭ほか:琵琶湖に棲息する植物プランクトンの総細胞容積および粘質鞘容積の長期変動解析, 日本水処理生物学会誌, 49(2), 65-74, (2013)
- 4) 安田 能生弘ほか:河北潟における難分解性有機物に関する実態調査(最終報), 石川県保健環境センター研究報告書, 52, 1-6, (2015)
- 5) 陣野 宏宙ほか:諫早湾干拓調整池水質等調査結果(2014 年度), 長崎県環境保健研究センター所報, 60, 85-92, (2014)
- 6) 佐藤 紗知子ほか:公共用水域における有機物指標としての TOC の重要性, 陸水学会雑誌, 78, 59-65, (2017)
- 7) 永田 俊ほか:流域環境評価と安定同位体, 京都大学学術出版会, (2008)
- 8) 九州農政局ホームページ 環境モニタリング水質調査結果
<http://www.maff.go.jp/kyusyu/seibibu/info/20060823.html>
- 9) 茨城県ホームページ 公共用水域の水質等測定結果
<http://www.pref.ibaraki.jp/seikatsukankyo/kantai/suishitsu/water/kokyoyosuiiki.html>
- 10) 千葉県ホームページ 公共用水域及び地下水の水質測定結果報告書
<https://www.pref.chiba.lg.jp/suiho/kasentou/koukyouyouyousui/>
- 11) 花町 優次ほか:淡水植物プランクトンの初期分解過程における、有機物の量および組成の変化, 日本陸水学会大会講演要旨集, 120, (2005)
- 12) 古田 世子ほか:琵琶湖に棲息する緑藻 *Staurastrum arctiscon* (Desmidiaceae) の生分解特性に関する研究, 水環境学会誌, 37, 103-109, (2014)

Characteristics of Organic Matter in and around Isahaya Bay Regulating Reservoir: Understanding of the Actual Condition about Refractory Organic Matter

Hirooki JINNO, Nobutaka URA and Yasuo YAMAUCHI

Long-term biodegradation test was conducted in order to investigate characteristics of organic matter in and around Isahaya Bay Regulating Reservoir. As a result, it was revealed that the concentration of TOC became constant by 100 days after start of the test. The ratio of refractory organic matter was 36 % to 81 %. Though there was seasonal variation of the ratio of refractory organic matter, there was no significant difference in the ratios between Isahaya Bay Regulating Reservoir and the basin. From the point of view of existence form, variability of refractory POC was much greater than DOC. The correlation between easily degradable POC and chlorophyll a as well as between refractory POC and suspended substance were very well, hence it seems that organic matter from phytoplankton is relatively easy to degrade, also that from bottom mud and suspended matter from the basin is relatively refractory.

Key words: Isahaya Bay, regulating reservoir, refractory organic matter