

B-29 湖山池の湖水に含まれる難分解性有機物に関する調査研究

鳥取県衛生環境研究所 ○小川美緒 南條吉之

1. はじめに

近年、多くの湖沼において、流域発生源対策が行われているにもかかわらず湖内の化学的酸素要求量(COD)は思うように減少していない。全国の湖沼の環境基準達成率は依然として40%前後で推移し、アオコや赤潮が頻繁に見られる。湖山池においても、下水道、農業集落排水処理施設等が設置され、湖内対策として浚渫が行われているが、環境基準湖沼A類型を達成できず、時々アオコが発生する湖沼となっている。環境基準湖沼A類型を達成しない原因の一つとして難分解性有機物の存在が考えられる。調査を行った結果COD値のうち約6割が難分解性有機物であり、湖水中に2~3 mg/l程度存在していることが明らかとなった¹⁾。

難分解性有機物とは微生物分解が出来ない有機物の総称で、湖水や河川水の主難分解性有機物は、フミン酸やフルボ酸といった腐食物質や生物が分解し切れずに残った堆積物中の親水性酸(糖酸、アミノ酸、ヒドロキシ酸など)であるという報告がある²⁾。その形態は図1に示すように単一の化合物ではなく、フェノール性水酸基やカルボキシル基など種々の高分子弱酸を含んだ不均一な複合体である³⁾。難分解性有機物の及ぼす影響として、上水の塩素処理により発ガン物質であるクロロホルムなどのトリハロメタン生成に関わることや金属イオンと安定した錯体を形成するため、鉄不足により植物プランクトンの増殖が抑制されるといった生態系への影響が懸念されている²⁾。また、銅などの有害金属に対する凝集能、六価クロムの無毒還元、地中の微量金属との錯体形成による拡散の報告がされており⁴⁾、良い面にも悪い面にも作用している。

これらの背景から、湖水中に存在する難分解性有機物の流入源と考えられる河川水、污水处理施設放流水について難分解性有機物の排出量を調査し、効果的な削減対策への基礎資料を得ることを目的に考察した。

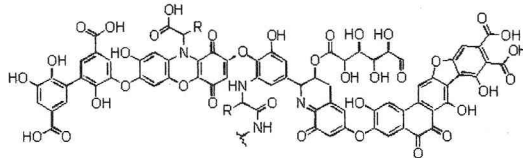


図1 腐植物質の構造モデル

2. 実験方法

2. 1 調査対象地点

調査対象地点は、湖山池に流入する河川28本のうち、堀越、大寺屋、千代川の支流である東岸、枝川、長柄川の5本、污水处理施設7箇所のうち吉岡処理区(接続人口1579人、H15年)、松保処理区(接続人口856人、H15年)、福井処理区(接続人口202人、H15年)の3箇所について調査を行った(図2)。

2. 2 微生物分解試験

試料20 l採水後3分間ポリタンクを振とうさせて必要量を採り、ろ過したものとそのままの試料について生物化学的酸素要求量(BOD)、COD、全有機炭素量(TOC)を測定した。ろ紙は、whatman[®] CF/C

ガラスフィルター47mmφを使用した。BODはJIS-K0102の21の方法で、CODはJIS-K0102の17の方法に従って行った。TOCはそのままの試料では直前に10秒間攪拌を行いSHIMADZU TOC-5000全有機炭



図2 調査対象地点

素計で測定した。残りの試料は室温（18～25℃）で8週間、暗条件で曝気を行い、週に一度同様に測定した。

2. 3難分解性有機物量算出方法

COD と TOC について毎週の測定値から指数平滑法による計算式を表し、最終測定値の指数平滑値を難分解性有機物量（mg/l）とした。指数平滑法とは、時系列データから将来値を予測する際に利用される代表的な時系列分析手法であり、測定データのうちより新しいデータに重みを付け過去になるほど指数関数的に減少した少ない重みを掛けて移動平均を算出する加重平均法の一つである。計算式は以下のとおりである。

$$\text{予測値} = \alpha \times \text{前回実績値} + (1 - \alpha) \times \text{前回予測値} = \text{前回予測値} + \alpha \times (\text{前回実績値} - \text{前回予測値})$$

つまり、一つ前の実績値が予測値からどれほど外れたかを算出し、それに一定の係数 α を掛けた修正値を、一つ前の週の予測値に加減して新しい週の予測値を導き出している。これにより、特異な実測値があった場合には影響が出過ぎることは避けられる。

2. 4排出量等調査方法

河川水は、流速計による測定値（m/s）に断面積（m²）を乗じて流量（m³/s）を算出し、污水处理施設放流水については、H15 年度污水处理施設接続人口⁵⁾に 240（l/人/日）⁶⁾を乗じて単位を揃え排水量（m³/s）を算出した。湖山池は、表面積約 6.8km²、平均水深約 2.8 m、滞留時間 99 日、貯水量 19,200,000m³⁷⁾である。貯水量に難分解性有機物量を COD 値平均 2.7 mg/l¹⁾あるいは TOC 値平均 1.9 mg/l¹⁾を乗じて、滞留時間 99 日の平均瞬間難分解性有機物量を算出し、365 日から 99 日を割った値 3.68 を乗じて湖水中の年間蓄積量を算出した。枝川及び長柄川の流量は「湖山池環境負荷削減事業」に係る鳥取大学工学部提供流量データの H14.4～H16.11 の下流データの平均値を使用した。これらのデータから、河川水や污水处理場放流水の難分解性有機物量の年間排出量及びそれらの湖山池に蓄積する難分解性有機物量への寄与率を求めた。

3. 結果及び考察

表 1 各地点の難分解性有機物量及び負荷量（COD）

採水箇所		採水後		難分解性COD			難分解性		流量		1日排出量	年間排出量	寄与率
地名	区分	COD (mg/l)	COD (mg/l)	D-COD (mg/l)	溶存率 (%)	含有率 (%)	(m³/s)	(kg/日)	(kg/日)	(kg/年)	(%)		
大寺屋	河川水	18.9	9.7	7.8	80.4	51.3	3.15×10 ⁻²	2.72×10 ⁰	26.3	9.63×10 ³	4.8		
堀越	河川水	2.9	2.6	2.2	84.6	89.7	6.46×10 ⁻³	5.58×10 ⁰	1.45	529	0.3		
東岸	河川水	2.5	2.7	2.1	77.8	108.0	4.00×10 ⁻³	3.45×10 ⁰	93.3	3.40×10 ⁴	16.9		
枝川	河川水	5.4	4.0	3.0	75.0	74.1	2.25×10 ⁻¹	1.94×10 ⁰	77.7	2.83×10 ⁴	14.1		
長柄川	河川水	3.5	3.6	2.0	55.6	102.9	6.90×10 ⁻²	5.96×10 ⁰	21.4	7.83×10 ³	3.9		
吉岡	下水処理水	8.6	5.7	4.3	75.4	66.3	4.39×10 ⁻³	3.78×10 ⁰	2.16	788	0.4		
福井	農集排水	5.2	5.1	4.4	86.3	98.1	5.61×10 ⁻⁴	4.84×10 ⁰	0.24	90	0.0		
松保	農集排水	6.0	6.4	5.7	89.1	106.7	2.38×10 ⁻³	2.05×10 ⁰	1.31	479	0.2		
採水場所		年平均COD (mg/l)		難分解性COD (mg/l)		難分解性含有率 (%)	貯水量		平均瞬間難分解COD量 (kg/滞留時間)	年間蓄積量	寄与率		
湖山池4地点の平均		4.7		2.7		57.4	(m³)	滞留時間	(kg/年)	(kg/年)	(%)		
湖山池		4.7		2.7		57.4	1.92×10 ⁷	99日	5.19×10 ³	1.89×10 ⁶	100		

各採水地点からの難分解性有機物（COD 値）について、表 1 に示した。その結果、COD 値は大寺屋の河川水が 18.9 mg/l とかなり高かった。微生物分解後は 9.7 mg/l と半減したがそれでも高く、大寺屋の河川水は住宅密集地域を流れており家庭雑排水が直接流れ出ている箇所もあるのが原因と考えられる。次に農業集落排水処理施設放流水の難分解性 COD 値は 5～6 mg/l と高い。BOD 値を各処理工程によって下げることは可能であるが、BOD 値に影響されない難分解性 COD は除去されていないといえる。難分解性 COD 値が占める割合については、難分解性有機物の算出法の関係から 100%を超える結果も出たが、概ね人口密集地域を流れる河川水については、大寺屋が 5 割、枝川が 7 割程度、吉岡下水処理水 6 割、その他の河川水や農業集落排水処理施設放流水は、湖山池に排出される COD 値の 9 割以上が難分解性 COD で占められていたといえる。湖山池の難分解性有機物の年間蓄積量は 1.89×10^5 kg/年であった。湖山池への流入水の年間排出量は千代川支流の東岸が 3.40×10^4 kg/年、枝川が 2.83×10^4 kg/年と多かった。これらは人口密集地域を流れる河川であったが、人為的な排出か自然由来の流出かは不明である。污水处理場放流水について難分解性有

機物濃度は高いが排出量としての影響は比較的小さかった。しかしながら処理施設からの排出は無視出来ない状況である。各地点から排出される難分解性有機物量の湖山池への寄与率については、今回調査した8地点の合計で湖水中の難分解性有機物存在量の4割を占めた。これ以外の難分解性有機物の蓄積の原因として、微生物由来の堆積物など湖沼内部で生産されたものも考えられる。湖山池のCOD平均値は4.7 mg/l (H9年～H17年の平均値 n=96) ⁸⁾ そのうち38.6% (1.8 mg/l) が湖沼の内部生産によるものである⁹⁾。難分解性有機物がCODの2.8 mg/lを占め、内部生産、外部汚濁共に同じ比率で存在するものと仮定すると、内部生産による難分解性有機物量は濃度で約1 mg/lということになる。残りは、今回調査対象としなかった流入河川23本(福井川、三山口川を除いては小河川のみ)及び污水处理施設4箇所由来であるものと考えられる。

表2 各地点の難分解性有機物量及び負荷量 (TOC)

採水箇所		採水後		難分解性TOC		難分解性		流量		1日排出量	年間排出量	寄与率
地名	区分	TOC (mg/l)	TOC (mg/l)	DOC (mg/l)	溶存率 (%)	含有率 (%)	(m ³ /s)	(kg/日)	(kg/日)	(kg/年)	(%)	
大寺屋	河川水	17.6	4.3	4.1	95.3	24.4	3.15×10 ⁻²	2.72×10 ⁴	11.7	4.27×10 ³	2.9	
堀越	河川水	1.4	1.1	1.1	100.0	78.6	6.46×10 ⁻³	5.58×10 ⁵	0.61	224	0.2	
東岸	河川水	1.4	1.5	1.2	80.0	107.1	4.00×10 ⁻¹	3.45×10 ⁷	51.8	1.89×10 ⁴	12.8	
枝川	河川水	2.4	2.2	1.7	77.3	91.7	2.25×10 ⁻¹	1.94×10 ⁷	42.7	1.56×10 ⁴	10.6	
長柄川	河川水	1.1	1.0	1.0	99.0	90.9	6.90×10 ⁻²	5.96×10 ⁶	5.96	2.17×10 ³	1.5	
占岡	下水処理水	2.8	2.8	2.5	89.3	100.0	4.39×10 ⁻³	3.78×10 ⁵	1.06	387	0.3	
福井	農集排水	4.0	3.4	3.4	100.0	85.0	5.61×10 ⁻⁴	4.84×10 ⁴	0.16	60	0.0	
松保	農集排水	3.3	3.4	3.1	91.2	103.0	2.38×10 ⁻³	2.05×10 ⁵	0.69	254	0.2	
採水場所		難分解性TOC (mg/l)						貯水量		平均瞬間難分解COD量 (kg/滞留時間)	年間蓄積量	寄与率
湖水4地点の平均								(m ³)	滞留時間	(kg/年)	(%)	
湖山池		1.9						1.92×10 ⁷	99日	3.65×10 ⁴	1.33×10 ⁵	100

湖沼の環境基準がCOD値によるため、水中の有機物量をCOD値で考察してきたが、CODは多種類の水について普遍的な相関は得られない¹⁰⁾。有機物絶対量として考察するにはTOC値が必要である。水道水においては2003年の改正により従来のCOD_{Mn}に変えてTOCが採用されている。難分解性有機物のTOC値に関する結果を表2に示した。これによると、各地点の採水後のTOC値は概ねCOD値に比例している結果であったが、微生物分解試験後の難分解性有機物濃度をCOD値と比較して見ると、大寺屋において難分解性CODが51%存在していたのに対し、難分解性TOCでは24%であり、湖山池への寄与率も8地点の年間排出量では3割程度であったことから、難分解性有機物に関しては有機物量の判断はTOC値で行う必要があるといえる。

参考文献

- 1) 小川美緒、初田亜希子、奥田益算、南條吉之 (2003) 「湖沼中の難分解性有機物に関する研究」鳥取県衛生環境研究所報 (第44号) P89-91
- 2) 森田昌敏、今井章雄、松重一夫編 (2001) 特別研究「湖沼において増大する難分解性有機物の発生原因と影響評価に関する研究 (平成9～11年度)」国立環境研究所特別研究報告
- 3) G.R.Aiken et al. Eds.: *Humic substances in soil, sediment and water geochemistry, isolation and characterization*, Wiley, New York: 1985, p. 4.
- 4) 福嶋正巳 (1998) ぶんせき No. 9, P655
- 5) 守山信敏 (2004) 「湖山池流域污水处理施設の接続人口の推移」鳥取市下水道管理課計画係提供データ
- 6) 國松孝男、村岡浩爾編著 (1989) 「河川汚濁のモデル解析」技報堂出版
- 7) 全国湖沼環境保全対策推進協議会編 (2004) 「全国湖沼資料集<第16集>」
- 8) 鳥取県衛生環境研究所水環境室 (2004) 「湖山池測定結果S48から」
- 9) 南條吉之 (2001) 「富栄養湖におけるキレート物質による藻類増殖促進作用に関する研究－湖山池を例として－」鳥取大学工学部博士論文
- 10) 並木博編著 (1993) 「詳解工業排水試験方法改訂2版」日本規格協会、P57