



Title	ダム湖の臭気物質の発生と動態
Author(s)	小林, 睦子; 橘, 治国; 杉山, 直樹 他
Description	第8回衛生工学シンポジウム (平成12年11月16日 (木) -17日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 2 環境 保全・リスク環境 . 2-10
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 8, 110-114
Issue Date	2000-11-01
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/7218">https://hdl.handle.net/2115/7218</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	8-2-10_p110-114.pdf



2-10

## ダム湖の臭気物質の発生と動態

○ 小林睦子 橋 治国 (北海道大学)、 杉山直樹 (広島県)  
益塚芳雄 (福田水文センター)、 中津川誠 野口朋毅 (北海道開発局)

### 1. はじめに

水道に含まれる異臭は、利用者に不快感を与え生活用水としての品位を落とす。異臭問題の中でもカビ臭物質である 2-MIB やジオスミンは、湖沼やダム湖などの閉鎖性の強い水域で発生し利水障害を引き起こしている。より安全で良質な水道水を確保するために、水道水源の汚染を防止することが必要であるが、水道水の安全性をダム管理にどう生かすかが大切になる。

調査対象の漁川ダム湖は、恵庭市など4市の上水道の原水に利用されている。本湖は平成5年夏季にカビ臭が発生して以来、その後も発生が確認されている。カビ臭発生は、湖沼の富栄養化により藻類の繁茂などの現象を伴うことが多いが、このダム湖の集水域は森林のみであり、湖水は清澄である。

本研究では、漁川ダム湖の臭気物質対策の一環として、ダム湖の水質と臭気物質発生との関連を明らかにし、臭気物質のダム湖内における動態と発生機構について検討した。

### 2. 研究方法

#### 2.1 調査対象水域

調査対象水域は、北海道恵庭市西部に位置する漁川ダムである。流域は森林が100%を占め、汚濁源はほとんどが面源負荷(山林、荒地)であり、人工的負荷は0に等しい。流入河川は4河川(漁川、ラルマナイ川、イチヤンコッペ川、モイチャン川)である。調査地点とダム湖の断面図を図1、図2にそれぞれ示した。漁川ダム湖は上流側で浅く下流側で急激に深くなり、段上を呈しているのが特徴である。これは上流側が堆砂の影響により水深が徐々に浅くなったことによる。

#### 2.2 調査方法

平成6年から水質調査を開始し、平成11年にカビ臭調査を6月下旬から10月初旬にかけて計5回行った。なお、北海道開発局・石狩東部広域水道企業団の平成5年から平成11年までの資料についても併せて解析を行った。

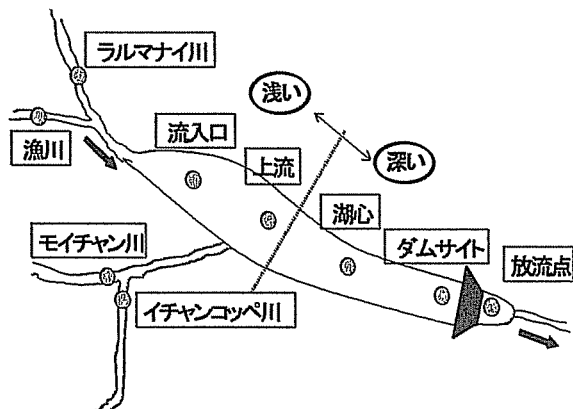


図1 調査地点

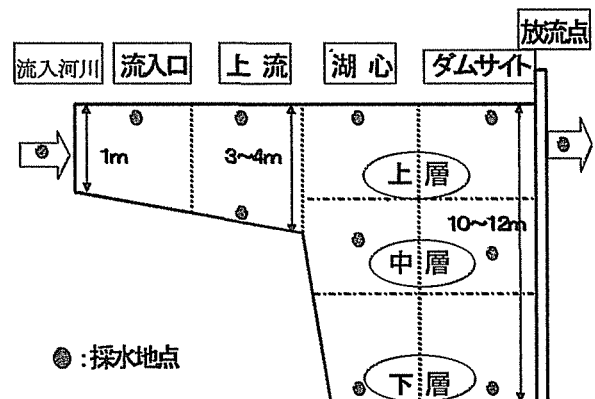


図2 ダム湖断面図

### 2.3 分析方法

- ・一般水質分析… 試料水は実験室に持ち帰った後、速やかにろ過処理をした。窒素・リン分析用の試料水・試料水ろ液は冷凍保存し、その他の試料水は冷蔵庫で保存した。分析は主に『水の分析』の方法に従った。
- ・臭気物質の分析…カビ臭物質であるジオスミンと2-MIBについて、『上水試験法(1993年度版)』で参照法として定められている固相抽出—GC/MS法を用いて分析した。固相抽出で良好な回収率を得るために窒素気流による水分除去を省いた。添加回収実験を行ったところ回収率は定量下限値である5ng/lで95.9%であった。また再現性は変動係数で4.4と良好な結果が得られた。

## 3. 結果・考察

### 3.1 カビ臭発生状況

漁川ダム湖の臭気原因物質は、GC-MS法による分析の結果ジオスミンであることが確認されている。カビ臭発生はダム湖内の生物(藍藻類・放線菌)に起因して発生するが、漁川ダム湖のジオスミン発生の原因生物は、発生時のchl-a濃度が低いことから藍藻類ではなく放線菌であると推定される。平成9年と平成11年のカビ臭発生状況を図4、図5に示す。発生時期は各年とも共通して6月下旬から9月初旬にかけてであった。

カビ臭発生状況は大きく2通りに分けられる。下流部下層(ダムサイト下層・湖心下層)のみに発生する年(H6・H7・H10・H11)と、全域で発生する年(H5・H9)である。共通してダムサイト下層において頻繁に高濃度のジオスミンが検出されている。放線菌の生理特性として水中ではカビ臭物質を産生しないことから、底泥で産生されたジオスミンが下層部で藻類の分解とともに溶出したものと考えられる。

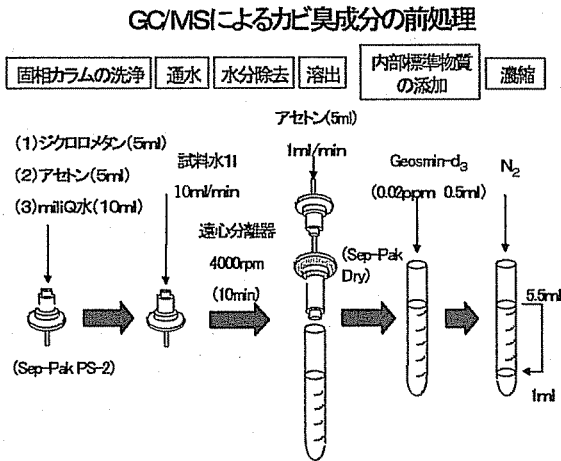


図3 カビ臭物質分析の前処理

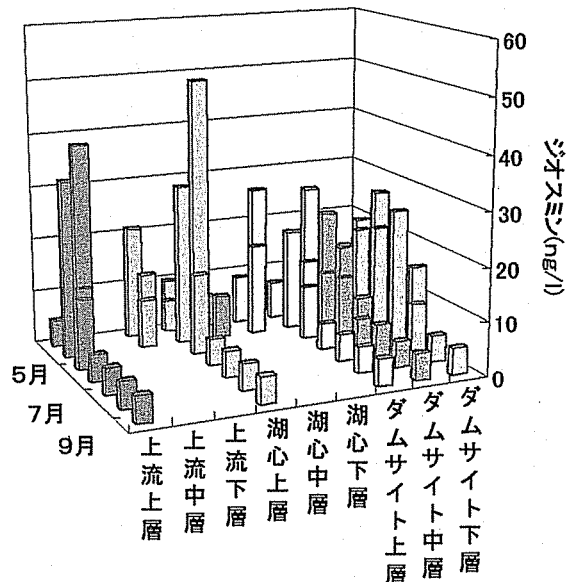


図4 H9のジオスミン発生状況

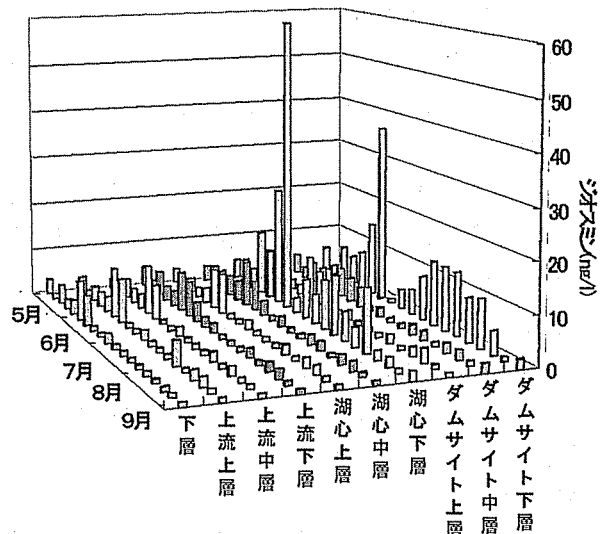


図5 H11のジオスミン発生状況

### 3. 2 カビ臭発生時の水質

ダム湖の形状を考慮して上流上層とダムサイト上層、下層のカビ臭発生状況別の水質平均を表1に示す。ジオスミン6 ng/l 以上をかび臭発生時としその前後2ヶ月間を発生前、発生後とした。なお、ジオスミンの検出限界は5 ng/l である。

表1 発生状況別水質平均

採水位置	発生状況	上流上層			ダムサイト上層			ダムサイト下層		
		発生前	発生時	発生後	発生前	発生時	発生後	発生前	発生時	発生後
n		30	46	27	35	52	34	22	57	35
ジオスミン	ng/L	4.5	7.6	4.1	4.8	7.3	4.4	5.0	20.1	4.4
水温	°C	12.2	16.1	12.2	13.2	17.1	11.8	6.5	8.2	6.1
pH	—	7.5	7.4	7.4	7.5	7.5	7.3	6.9	6.8	7.1
DO	mg/L	10.6	10.0	10.7	10.6	10.0	11.0	6.4	3.5	10.0
濁度	度	4.0	4.5	7.7	3.5	4.6	5.2	5.9	10.1	7.3
E.C.	μS/cm	71.9	81.3	82.1	67.9	79.2	65.6	72.3	85.2	80.1
T-P	mg/L	0.01	0.03	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.03	0.01
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	mg/L	0.002	0.004	0.006	0.003	0.004	0.005	0.004	0.013	0.006
T-N	mg/L	0.130	0.191	0.178	0.151	0.194	0.148	0.250	0.483	0.186
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	mg/L	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.003	0.004	0.001
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	mg/L	0.017	0.036	0.059	0.023	0.030	0.041	0.084	0.052	0.057
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	mg/L	0.019	0.020	0.017	0.019	0.016	0.023	0.081	0.225	0.056
COD[Mn]	mg/L	2.0	2.7	1.8	2.2	2.6	1.9	2.1	3.8	2.0
Chl-a	mg/m <sup>3</sup>	6.3	12.3	4.1	9.5	10.1	3.7	1.9	2.9	0.9
Mn	mg/L	0.02	0.05	0.05	0.02	0.03	0.03	0.16	0.42	0.15
水位	m	160.3	159.5	159.5	161.9	159.5	159.3	161.9	159.5	159.3
流入量	m <sup>3</sup> /s	4.60	3.70	4.63	5.67	4.09	5.34	5.67	4.09	5.34
放流量	m <sup>3</sup> /s	4.64	3.75	4.93	5.82	4.32	5.16	5.82	4.32	5.16

採水地点と発生状況ごとに水質に差異がみられる。図6には、8月における上層とダムサイトの鉛直方向の水質変化を示す。水質成分は2地点で変化に違いが見られた水温・DO・濁度である。上層は水深が2.2mと浅く3成分とも一定の値を示し水はよく混合されている。それに対し、ダムサイトの水深は13mであり、水温は深くなるにつれてなだらかに減少し、DOは8m付近から急激に減少し底泥付近では無酸素状態に近かった。また濁度は5m、10m付近でふたつのピークが見られ、深度別の水質変化があった。

発生状況ごとにみると、発生時の水温は発生前後より高い。特に上層部は平均値で16°Cであり、ジオスミン発生状況としては適している。ダム湖内の表層水温は5月頃から上昇

し始め、穏やかな水温躍層が6月から8月にかけて形成され、この時期にカビ臭は発生している。上層部でpHは7.4前後とアルカリ側を推移している。ダムサイト下層では発生時の平均が6.8と酸性側になっている。溶存酸素(DO)は、上層部では発生状況による差は見られず、10mg/l前後を推移しており飽和状態にある。水深が浅いため下層部が嫌気化されることは無い。ダムサイト下層においては2mg/l前後を推移しており嫌気化が進んでいる時にジオスミンが発生している傾向がある。平成11年においては4mg/l前後を推移している。底泥直上は無酸素状態であると思われる。懸濁物質(SS)は上層部では3mg/l前後であり、湖水が清澄であることを示しているのに対し、ダムサイト下層では発生時に

8mg/l と高い値を示している。

COD 濃度は発生前後で 2mg/l を推移している。放線菌増殖には炭素源として有機物が必要といわれている。発生時において COD は高い値を示し、放線菌の増殖（ジオスミン生成）に使われていると思われる。特にダムサイト下層は他地点よりも高い値を示し密度流や底泥からの溶出が推測される。また上流部においても生成・増殖には COD が高くなり有機物濃度は高い。

全窒素の平均値は上層部で 0.2mg/l 以下である。ダムサイト下層において発生前後より発生時には 2 倍以上の濃度であり、特にアンモニア態窒素において濃度の増加が顕著である。ジオスミン濃度の増加に伴ってアンモニア態窒素濃度も増加しており、これは嫌気状態が両者に関連しているといえる。硝酸態窒素は発生時に 0.04mg/l 前後であり、亜硝酸態窒素はほとんど存在しない。共に発生前後と発生時の顕著な差は見られなかった。

リンに関しても全窒素と同様な傾向が見られた。

### 3. 3 主成分分析による発生機構の検討

過去の上流とダムサイト下層のデータと平成 11 年の調査結果を合わせて主成分分析を行った。図 7 に各水質項目の主成分負荷量を示す。(第一主成分寄与率:52%、第二主成分寄与率:18%) 図 8 に主成分得点による散布図を示す。

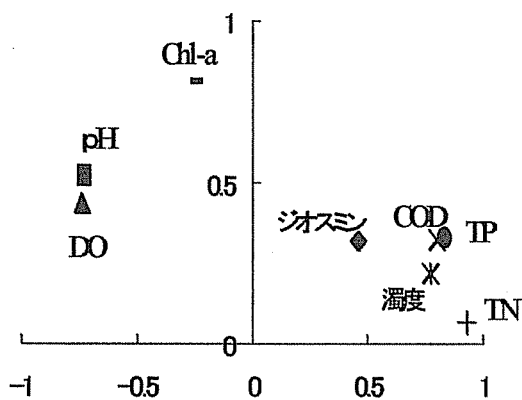
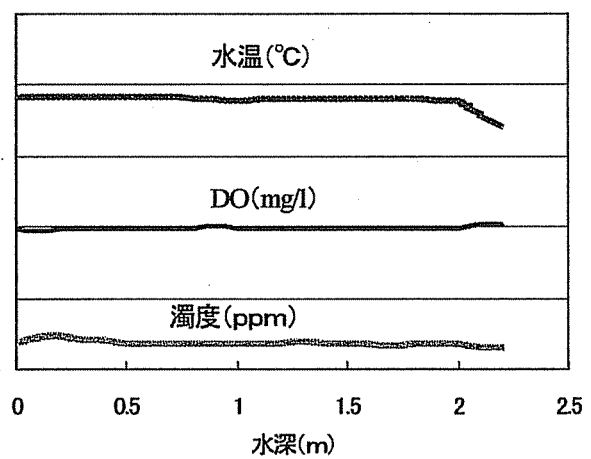
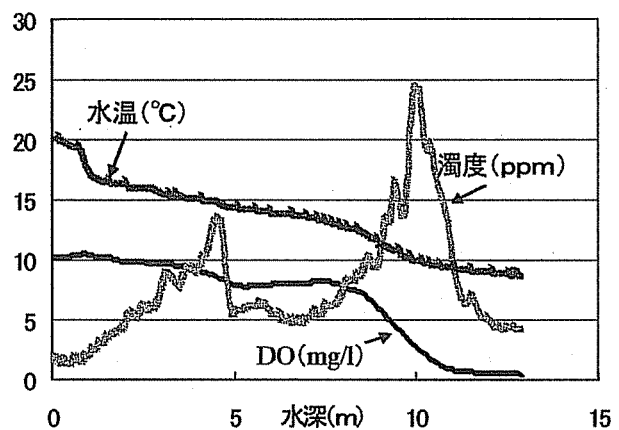


図 7 各水質項目の主成分負荷量



上流



ダムサイト

図 6 鉛直方向水質変化

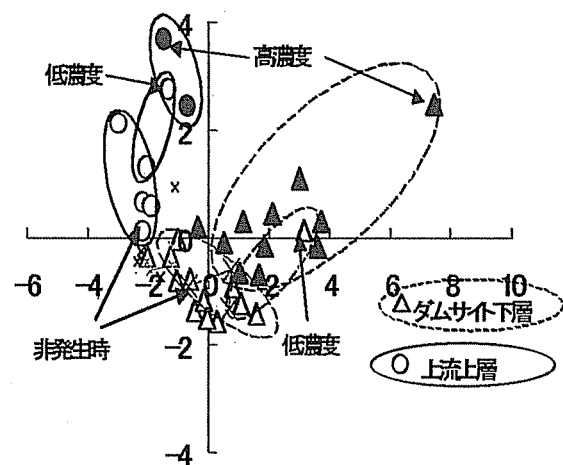


図 8 主成分得点

濁度・COD が正に位置し、pH・DO・chl-a が負に位置していることから、ダム湖系内の負荷の起源を表しており、正の方向に行くほど流入河川からの外部負荷の寄与が強く、負の方向に行くほど湖沼内の生産・消費などの内部負荷の寄与が強くなるといえる。第二主成分軸(第二軸)は chl-a が正の値が大きく正の方向に行くほど気温による寄与が大きいと考えられる。

ジオスミン濃度を非発生時(0~5ng/l)、低濃度(6~15ng/l)、高濃度(16ng/l~)に分けて、主成分得点による散布図を示すと、上流上層は第二軸の寄与が大きい。水深が浅いため気温の影響を受けやすく水温上昇などにより、ジオスミン発生に適した環境になったと思われる。ダムサイト下層では第一軸の寄与が大きい。温度躍層などによりダムサイト下層部に流下する流入河川水と共に放線菌が底泥に沈降・堆積し、ジオスミン発生に至るものと考えられる。

### 3. 4 発生機構の推定

カビ臭原因生物である放線菌は土壤中に多く生息する従属栄養の絶対好気性細菌である。杉浦<sup>1)</sup>のよると放線菌は底泥直上の無酸素状態では生成は不可能であり、ジオスミン生成最適温度は25℃、最適pHはアルカリ側である。放線菌増殖・ジオスミン生成に関して窒素成分は2g/lまでは直線的な増加を見せ、リンに関しては最適濃度0.05g/lであり、少量でも効果があるとしている。

高温、pHがアルカリ側、過飽和状態になる上流部はダム湖内では、放線菌増殖・ジオスミン生成に適しているといえる。有機物、栄養塩類の条件もそろっており、水温の上昇など気象条件により発生したものと考えられる。

ダムサイト下層のかび臭発生時期は嫌気化が進んでおり、底泥直上においては無酸素状態であることが推測される。かび臭発生時の水温も10℃以下と低くpHも酸性側でありダムサイト下層において放線菌が増殖し、菌糸を出してかび臭を生成する可能性は低い。吉武等<sup>2)</sup>によると嫌気状態でも放線菌が生息

し、溶存酸素による底泥表層の放線菌の代謝活性を促進することにより増殖に寄与するという報告もしている。また、水環境中でジオスミン濃度がピークを迎える時には放線菌は増殖よりもむしろ死滅・分解過程にあると報告している。

以上のことをまとめると上流部は主に放線菌増殖の場でありダムサイト下層は懸濁物質とともに移流により運ばれてきた放線菌が死滅・分解し菌体内のジオスミンが水中に溶出されたと推測される。

本研究室の水質調査により流入河川の水温は、ダム湖上層よりも2~3℃低いことが分かっている。流入河川水が密度流によりダム湖底層を這うように流下しているといえる。上層部で増加した放線菌を取り込みながら流下していき、ダムサイト下層において底泥に沈降・堆積した放線菌が無酸素状態によって、死滅・分解しかび臭発生に至ったものと考えられる。

## 4. 結論

漁川ダム湖におけるカビ臭発生時期は6月下旬から9月初旬にかけてであり、発生源は上流部とダムサイト下層である。

カビ臭発生にはダム湖の形状が大きく関わっており、流入河川などからの外部負荷、気温などによる湖沼系内の水質循環が大きく関係していることが示唆された。

### 謝辞

本研究の実施に際して、石狩東部広域水道企業団から資料を提供していただきました。ここに記して謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 杉浦則夫：放線菌によるカビ臭物質の発生機構、用水と排水 Vol. 31No. 10 (1989)
- 2) 吉武和人、朝倉順子：放線菌の生理活性とカビ臭生成、用水と排水 Vol. 28No. 11 (1986)
- 3) 日本水道協会：生物起因の異臭味水対策の指針 (1999)