

臭気モニタリングによる都市河川臭気発生特性の把握

エンジニアリング本部 防災・環境解析部 水圏解析ユニット

小関 祥子

加藤 伸悟

1. 背景と目的

都市部を流れる河川では、合流式下水道からの雨天時越流汚水の流入の影響を受けた水質の悪化により、白濁化、スカムの発生、悪臭発生といった周辺住民への弊害や、親水性の低下が問題視されている。

水質障害に対する住民意識に関する調査として、Onoki¹⁾は、下水処理水による清流復活事業が行われている大田区 呑川において路上アンケートを実施しており、呑川の河川環境改善要望として最も高かったのが「臭気」であったことを報告している。堀口ら²⁾も、東京湾の運河地域における住民アンケートにより、90%以上の住民が運河からの臭気を感じていることを報告している。それらアンケート調査以外にも、都心部では自治体に対して河川の臭いに関する苦情や対応を求める声が毎年寄せられていることから、河川からの臭気に対して関心が高いことがわかる。

また、河川水質管理においても、従来の BOD に代表されるような水質汚濁指標のみでは河川水質を適切に評価されないといわれており、河川の臭気は親水性のある都市づくりにおいて重要な項目であることが指摘されている。

そこで本稿では、水域における臭気発生事例や従来の臭気観測方法についてとりまとめ、当社で実施した都市河川における臭気センサーを用いた臭気連続観測の試みと、対策検討に向けた臭気発生

特性の把握に対する臭気連続観測の有効性について報告する。

2. 水域における臭気発生事例

河川において発生する臭気には、下水の越流による下水臭やアンモニア臭、底層の貧酸素化によって発生する硫化水素臭、有機物の分解から発生するメタン臭や腐敗臭などがある。

例えば、東京都の石神井川では、川底に溜まった有機物がスカムとなって浮上する現象が頻繁にみられる。その際に発生する硫化水素やメタンガスが悪臭の原因となっており、臭気対策を継続して実施している。また、目黒川では、河川から発生する硫化水素臭が問題となっており、ヘドロの浚渫や水質浄化試験を実施するなど、臭気対策への取り組みを進めている。愛知県の堀川および新堀川においては、降雨時にゴミや汚物を含んだ下水が流入することによって河床にヘドロが溜まり、大潮時に水位が下がるとヘドロが干出してどぶ臭くなるのが問題となっており、ヘドロの浚渫を行っている。その他にも、東京都の渋谷川・古川・呑川、大阪府の平野川・古川・寝屋川など、都市部の下流河川において、臭気に関する報告や苦情が多く確認されている。

以上のように、都市部を中心に各所で臭気の発生が問題となっており、河川管理者は臭気対策を実施しているものの、解決には至っていない状況にある。

3. 臭気発生メカニズム

水域からの臭気発生について、その発生メカニズムを検討した調査・解析の一例には以下のような報告がある。

武田ら³⁾は名古屋市を流れる堀川において、導水効果の把握を目的とした社会実験(堀川 1000 人調査隊 2010)に参加した市民から得た時空間的な臭いの強さの報告結果を整理しており、大潮時、水温が上がる夏季、未処理汚水の流入や河床に溜まったヘドロが巻き上げられる雨天時に臭いが強くなるとしている。

堀田ら⁴⁾は、停滞性汽水域における硫化水素の実測値と硫化水素発生モデルの計算値を比較し、水位が高い期間は水圧により硫化水素が底泥中に堆積されているが、大潮に近づき水位が低下することで圧力が弱まり、硫化水素が放出されやすくなることにより臭気が発生すると報告している。

三浦ら⁵⁾は、都内の中小河川汽水域において構築した水質予測モデルの計算結果から、河川内底層の停滞部で形成された硫化物を含む無酸素水塊が潮汐流によって湧昇することで青潮となり、硫化水素臭が発生している可能性が高いと言及している。

他にも、2013 年に大田区が実施した呑川汚濁実態調査では、呑川流域の一部で下水臭、腐敗臭、硫化水素臭が確認されており、下水臭は下水越流発生時や発生後、腐敗臭は夏季のスカム発生時、硫化水素臭はスカム・白濁発生時と初夏の大潮の引き潮時に発生していること、春から夏にかけて臭気を感じる頻度が多いことが報告されている。

このように、水域における臭気発生メカニズムは、現地調査結果や既往文献、臭気発生状況と河川の水利条件(流速、水位)や気象条件との関連性から、

ある程度推察されているが、特に複数のメカニズムが関係して臭気が発生している水域においては、それぞれのメカニズムからどの程度の頻度で臭気が発生しているかについて把握されていない。臭気発生抑制のための効果的かつ効率的な対策を講じる場合には、対象河川の臭気発生現状を把握することに加えて、臭気の発生メカニズムとメカニズムごとの発生頻度を結び付けた「臭気発生特性」の把握が重要であると考えられる。そのためには、個々の臭気発生状況を発生メカニズム別に分類するための臭気の時系列データが必要と考えられる。

4. 臭気測定技術

現地における臭気を測定する技術としては、官能試験法、ガスクロマトグラフ法、臭気センサー法の 3 手法があるが、既往の臭気観測事例では、主に官能試験法やガスクロマトグラフ法が用いられている。例えば、増田ら⁶⁾は官能試験法、三浦⁷⁾はガスクロマトグラフ法で河川の臭気を測定している。

官能試験法は人の嗅覚を用いた臭気指数測定手法であり、三点比較式臭袋法および三点比較式フラスコ法がある。袋もしくはガラス瓶に補修した空気の臭いを嗅ぎ取り、臭気の有無や快・不快度、強度を判定する。

ガスクロマトグラフ法は、ガスクロマトグラフ質量分析計(GCMS)を用いて、臭気の原因となっている化学物質の定性情報を取得する手法である。試料となる空気を真空容器や樹脂製のバッグに捕集し、臭い成分を抽出・濃縮したのち、分析に用いる。

上記のような官能試験法およびガスクロマトグラフ法は、測定を行うまでに時間や手間がかかるため、臭気の連続観測に用いることは難しく、時系列デー

タを得るには不向きである。

一方で、臭気センサー法は、金属半導体が搭載されたセンサーにより、臭いの強度を測定する手法であり、数秒～数時間単位での連続測定が可能である。房家ら⁸⁾および中島⁹⁾は、臭気センサーで測定された臭気指示値の定量評価方法について検討しており、臭気指示値は臭気濃度と相関関係にあるため、濃度換算が可能であることを報告している。臭気センサー法であれば、現地に常時設置することで一定時間毎に臭気の強さの測定を行い、経時変化を追うことが可能である。

そこで本稿では、臭気の時系列データが測定できる臭気センサーを用いた目黒区 目黒川における臭気連続観測の結果から、臭気発生特性の把握に対する臭気連続観測の有効性をまとめた。

5. 目黒川における臭気連続観測

5.1 臭気観測システムおよび観測概要

東京都内を流れる目黒川において、臭気観測システム(DeomoniO、センサー部は共生エアテクノ製)を用いた臭気観測を実施し、都市河川における臭気発生状況の現状把握を行った。

臭気観測システムの仕様を表 1、外観を図 1 に示す。このシステムは、臭気強度、温度、湿度を 10 秒ピッチで計測できるセンサーをボックス(外形 28cm×28cm×14cm)に配置した。また、センサーは計測対象臭気に合わせて、センサー素子をカスタマイズしたものを用いた。

目黒川における臭気連続観測は、図 3 に示す田道橋下流の右岸河川管理用通路において実施した。田道橋は目黒川の感潮区間中流域に位置しており、上流からの流量および東京湾の潮位に応じて水位

が大きく変動する。田道橋付近においても、他の目黒川感潮域と同様に白濁化やスカムが発生しており、河川の状態によっては強い硫化水素臭が確認されている。

臭気観測システムの現地への設置状況を図 2 に示す。臭気観測システムは、上記管理用通路に設置した仮設電柱に取り付けた(地表面から 3m 付近に設置)。観測期間は、平成 29 年 6 月 26 日～10 月 31 日とした。

表 1 臭気観測システムの仕様

臭気観測システム DeomoniO	
センサー	臭気センサー、温湿度センサー
測定項目	臭気強度、温度、湿度 (測定対象臭気に合わせてカスタマイズ)
測定範囲	臭気レベル表示：0～2,000
吸引方法	ブロフによる吸引(吸引量：3L/min)
使用・保存周囲温度	0℃～40℃
使用・保存周囲湿度	25～85% (結露のないこと)
測定間隔	10秒



図 1 臭気観測システムの外観



図 2 臭気観測システムの設置状況

点比較式臭袋法により測定された臭気濃度から、図 4 に示す関係式を作成し、センサー値を臭気指数に変換した。

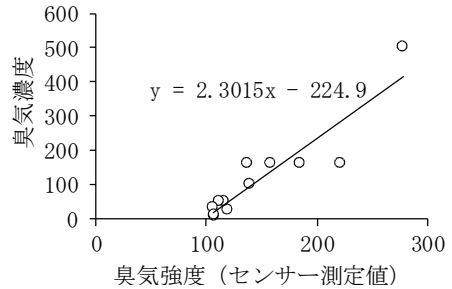


図 4 臭気強度と臭気濃度の関係式

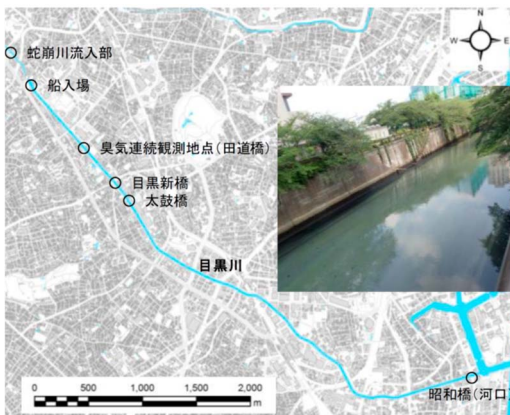


図 3 臭気連続観測地点 (写真は観測システム設置位置から下流方向を撮影)

5.2 臭気観測結果

臭気観測システムにより測定した臭気強度と臭気指数の変化を図 5 に示す。なお、図 5、図 6 中の臭気強度は臭気観測システムにより 10 秒ピッチで測定された強度の時間最大値であり、以降に示す臭気強度も時間最大値を使用している。また、臭気指数は、基準値(目黒区の臭気指数の敷地境界線規制基準値である 10 とした)を超過する場合を中塗り丸印、基準値未滿を中抜き丸印で示している。なお、関係式により算定した臭気濃度が計算上 0 以下となる場合には、臭気指数は表示していない。

現地において発生している臭気を人間の感覚量に対応した尺度で評価する指標として、人間の嗅覚を用いて臭いの程度を数値化した臭気指数(臭気指数=10×Log(臭気濃度))があるが、臭気観測システムにより測定される臭気強度は、システム固有の値であり、具体的な臭気物質の濃度を示すものではない。そこで、現地において採取した臭気について、臭気観測システムにより測定されたセンサー値と三

観測地点における臭気強度のベースラインは、観測期間を通じて 40～70 程度であるが、突発的に数百程度まで上昇する時期がある。7 月～9 月において臭気指数基準値を上回る頻度が高く、10 月以降は頻度が大きく低下している。臭気指数の基準値超過時間は、短い場合で 1 時間、長い場合でも 3 時間程度であり、臭気は短時間で終息していることがわかる。

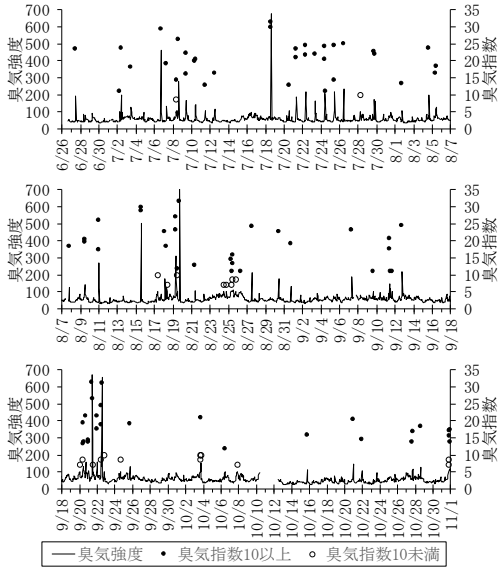


図 5 臭気観測システム測定値と臭気指数

5. 3 臭気発生メカニズムと臭気発生特性

臭気発生時の河川内状況を示す水深および流量と臭気強度の関係、三浦ら⁵⁾による検討結果から、目黒川における主な臭気発生メカニズムは以下のとおりである。

【メカニズム1 上流からの雨天時越流汚水の流入】

目黒川上流部(北沢川、烏山川、蛇崩川)は、合流式下水道の幹線となっており、雨天時には雨水で希釈された汚水の一部が流入する。それら汚水が目黒川の臭気発生の一因となっている。

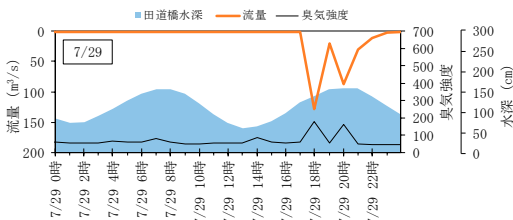


図 6 目黒川流量増加時の臭気強度観測結果

【メカニズム2 水位低下時のヘドロの巻き上げや露出】

水位が大きく低下する時期(東京湾大潮時)においては、水深が浅くなることで掃流力が大きくなり、河床に堆積したヘドロが巻き上げられることで黒濁化し臭気が発生する。また、フーチング上に堆積したヘドロが露出することで臭気が発生する。

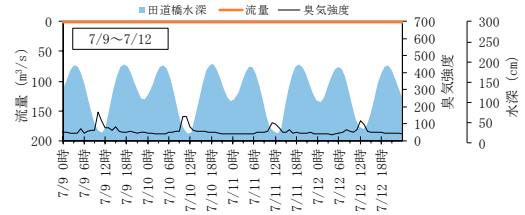


図 7 水位低下時の臭気強度観測結果

【メカニズム3 上げ潮時の底層水の湧昇】

目黒川の底層には、硫化水素を多く含んだ貧酸素水塊が滞留している。上げ潮時の海水遡上により、その水塊が水面付近まで押し上げられることで臭気が発生する。

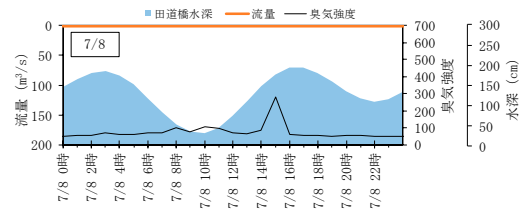


図 8 水位上昇時の臭気強度観測結果

以上のような臭気発生メカニズムについて、図 8 に示した臭気指数が基準値 10 以上となる場合をそれぞれのメカニズムに分類し、その発生特性を考察した。発生メカニズム別頻度(時間数)とその構成割合を図 9 に示す。

臭気指数が基準値以上となる場合の半数程度は「水位低下時のヘドロの巻き上げや露出(メカニズム 2)」が要因であることがわかる。

7月～10月の月別の臭気発生メカニズム別頻度を図10に示す。臭気指数が基準値を超過した頻度は、7月～10月の観測期間中で7月が最も高く、10月に向かって低くなっており、月平均気温(羽田アメダス)が20℃を下回る10月の発生頻度は、盛夏期である7月～8月発生頻度の4割程度まで減少している。発生頻度が最も高い7月は、メカニズム2による臭気発生が多数を占めており、8月についても半数程度が同要因により占められている。9月および10月は、期間中に流量50m³/s以上となる出水が複数回発生しているものの、同じタイミングで臭気指数が基準値を超過するケース(メカニズム1)は発生していない。

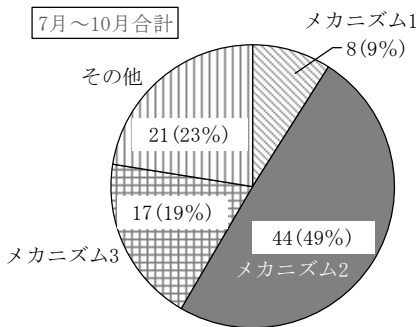


図9 発生メカニズム別の臭気発生頻度と構成割合(7月～10月合計)

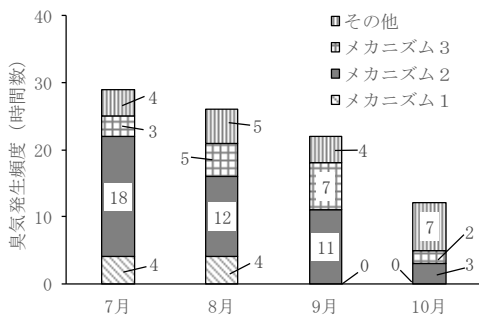


図10 各月の発生メカニズム別の臭気発生頻度

以上のように、7月～10月の臭気指数が基準値を超過する頻度を整理した結果、目黒川では、水位低下時のヘドロの巻き上げや露出(メカニズム2)を要因とする臭気発生が支配的であることがわかった。また、9月および10月は上流からの雨天時越流汚水の流入による臭気指数基準超過は発生していないことがわかった。

これら特徴は、河川ごとの水質特性に応じて異なるものと考えられるが、臭気抑制対策を検討する際に、効果的かつ効率的な対策を見出すための重要な情報となりうると考える。目黒川においては、河床に堆積したヘドロの巻き上げや露出するヘドロから発生する臭気への対策が重要と考えられる。

6. 臭気連続観測システムの改良

目黒川における観測に使用した臭気観測システム「DeomoniO」は、臭気センサー、無線発信機、無線受信機、データ保存閲覧のためのパソコンにより構成されており、無線通信可能距離が短く、少しの障害物で通信しにくくなるという欠点があった。システムの使用が想定される都市河川周辺には、無線通信に障害となるビル等が多く存在しているため、通信障害の問題を解消しておく必要がある。また、システム使用の際には、観測データ保存閲覧用のパソコンの設置場所(空調が管理された公共施設など)が必要であるが、観測場所によっては設置場所の確保が難しい場合が考えられる。

そこで、臭気観測システムの改良を行った。改良されたシステムは、臭気センサーをIoTゲートウェイに接続し、センサーにより測定された臭気強度、温度、湿度をクラウドに保存できるようにした。また、クラウドに保存されたデータは、任意のパソコンにより

CSV 形式でダウンロードできるようにした。このことにより、通信障害によるデータ欠損、および、観測データ保存閲覧用のパソコンの設置場所確保の問題が解決され、観測システム設置場所の制約が無くなり、より確実性の高い観測が可能となった。

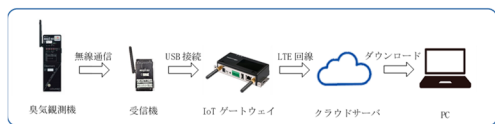


図 11 改良した臭気連続観測システムの構成

7. 臭気連続観測の今後の展望

目黒川での臭気観測は、1 地点のみで臭気測定を行ったため、河川の縦断的な臭気発生状況については把握することができなかった。臭気の発生頻度や強さは、河川の水深、雨水吐きの位置、ヘドロ堆積の有無など、場所場所の様々な環境要因によって変わってくる。例えば、下流からの距離によって潮汐変動から受ける影響は異なるため、上流域と下流域では臭気発生頻度に差が出てくる可能性がある。これらのことを踏まえ、今後は複数地点で臭気観測を実施することが望ましい。さらに、測定時の風向きによって、センサーの臭気感知に差が出ることが予想されるため、風向風速についても同時に観測する必要がある。

8. おわりに

本稿では、都市河川等の自然水域からの臭気発生が問題視されている現状を踏まえ、臭気発生特性の把握を目的とした臭気連続観測システムの有効性をまとめた。

目黒川を対象とした臭気連続観測で得られた成果を以下に示す。

- ・臭気観測システムにより測定された臭気強度から算出した臭気指数は、7 月～9 月において基準値を上回る頻度が高く、月平均気温が 20℃を下回る 10 月以降は基準超過頻度が大きく低下していることがわかった。また、臭気指数の基準値超過期間は、短い場合で 1 時間、長い場合でも 3 時間であり、臭気は短期間で終息することがわかった。
- ・臭気強度が基準値を超過して上昇した状況について考察した結果、目黒川では、合流式下水道からの雨天時越流汚水の流入、水位低下時の河床堆積ヘドロの巻き上げもしくはフーチング干出時のヘドロの露出、上げ潮時における硫化水素を多く含んだ底層水の湧昇が主な臭気発生要因であることがわかった。
- ・臭気指数が基準値を超過した状況を臭気発生メカニズム別に集計した結果、目黒川では、水位低下時のヘドロの巻き上げもしくはフーチング干出時のヘドロの露出を要因とする臭気発生が支配的であることがわかった。また、9 月および 10 月は上流からの雨天時越流汚水の流入による臭気指数基準超過は発生していないことがわかった。

以上の成果は、時々刻々と変化する臭気強度を、長期間かつ短い測定間隔で観測したことで得られたものであり、臭気発生要因と要因ごとの発生頻度を結び付けた臭気発生特性の把握に対して、臭気連続観測システムの有効性を示したものである。

これら臭気連続観測システムから得られた情報をもとにすることで、効率的かつ効果的な臭気改善計画を立案することができると考えられる。また、対策による臭気改善効果の把握に対しても、本観測システムが有効であると考えられる。

<参考文献>

- 1) Onoki Emiko : Combined Sewer Overflow in Urban Hydrology A Case Study of the River Nomi (Nomigawa) Tokyo, Japan, BSc thesis in Geogra-phy, University College London, 2007.
- 2) 堀口孝男・堀江毅・菊地政信・小島伸一:運河における悪臭発生に関する調査・研究,海洋工学論文集,第 38 卷, pp.901-905, 1991.
- 3) 武田誠, 松尾直規, レグミウゲンダ:堀川における浮遊物の移動特性と悪臭およびヘドロの堆積状況との関係, 水工学論文集, 第 54 卷, pp.1189-1194, 2010.
- 4) 堀田哲夫, 天野光歩, 山下芳浩, 陳飛勇, 東海林光:停滞性沿岸域での悪臭ガス発生に関する調査, 海岸工学論文集, 第 49 卷, pp.1101-1110, 2002.
- 5) 三浦心, 根岸均, 堀田哲夫, 家壽田昌司, 稲田貴捨:目黒川における白濁化の発生と水質予測モデルの構築, 土木学会第 63 回年次学術講演会, pp.167-168, 2008.
- 6) 増田淳二, 北野雅昭, 福山丈二, 藤田忠雄:大阪市内河川水の臭気指数について, 大阪市立環科研報告, 平成 19 年度, 第 70 集, pp.59-63, 2008.
- 7) 三浦心, 石川忠晴, 堀田哲夫:都市河川汽水域に堆積する有機汚泥からの嫌気性ガス発生とスカムの浮上に関する研究水工学論文集, 第 73 卷, 4 号, pp.L1063-L10689, 2017.
- 8) 房家正博, 雨谷敬史, 松下秀鶴:臭気センサーによる複合臭気の評価手法の検討(I)-臭気センサー指示値と臭気物質濃度との相関-, 大気環境学会誌, 33(5), 297-305(1998)
- 9) 中島寛則:ニオイセンサを用いた悪臭物質簡易定量法に関する一考察, 名古屋市年報第 7 号, pp.19-22, 2018.