

〈特集〉

汚染物質漏洩に関わる危機管理に向けた水質計測システムの現況

圓 佛 伊智朗

(株)日立製作所 日立研究所 エネルギー・環境研究センター
 (〒 319-1221 茨城県日立市大みか町 7-2-1 E-mail: ichiro.embutsu.bb@hitachi.com)

概 要

河川や湖沼などへの汚染物質漏洩に対する危機管理は、環境保全と利水の観点で継続的な取り組みが求められるものの一つである。危機管理の基本は、現況を迅速かつ正確に把握することであり、これに向けた水質計測技術の開発が進められてきた。本稿では、こうした危機管理への先行的な取り組み事例と水質計測システムについて概観し、今後の課題と展望を示す。

キーワード：危機管理、水質リスク、生物学的センサ、理化学的センサ、河川流域プログラム

原稿受付 2012.2.14

EICA: 16(4) 11-15

1. はじめに

河川管理者や利水者の今日的な課題として、適正な水質リスク管理は早急な対応が求められるものの一つであり、対応技術へのニーズも高い。

汚染物質が河川に漏洩する水源水質事故は継続的に発生しており¹⁾、事前/事後の対応は河川管理者のみならず、利水者である水道事業者の重要なリスク管理業務の一つである。不測の事故が発生した際には利水上の影響を予測し、可能な対策を取る必要がある。例えば、水道事業者では、流入汚染物質の取水口への流下時刻や濃度を予測し、これに基づき、必要な期間だけ取水を停止し、オイルフェンス設置、除濁措置のために人員配置が行われる。

こうした対策のために、Fig. 1 に示すような体制が整備されてきており、先進的な水道事業者では河川情報システム²⁾を活用するケースもでてきている。このシステムの主要な機能として、水質計測システムがあり、汚染物質流入事故の発生時刻及び流入汚染物質濃度を推定するための情報を得ることができる。

水質計測技術は、これまで、サプライ側のシーズが先行しがちであり、導入側ニーズへの適用性を判断す

る必要が指摘されている。本報では、こうした適用性の検討を目的に、水質計測技術について、上下水道施設のリスク管理への適用事例を報告する。これにより、今後の水質計測技術の普及の可能性とこれに向けた課題について論ずる。

2. 水質計測システムの必要性

2.1 水質計測システム導入の目的と意義

水道事業者は水道水質管理の一環として、日常的に水源または原水の水質を把握できる監視体制を構築する必要がある。この監視体制を円滑に運営する手段として、水質計測システムが導入される。システム導入の大きな目的は、1) 従来の手分析や機器分析を主体とした監視では困難を伴った、多地点かつ高頻度の水質監視を実現すること、2) 膨大な水質データの管理を効率化することである。

システムで管理されたデータは、水道施設の維持管理に実時間で反映できるだけでなく、帳票作成などの報告業務や、水源概況の調査解析等にも活用できる。また、システムの存在自体が、当該水道事業者の取組みの高さを示すものとなり、水道水質に対する信頼性を向上させるシンボリックなものとも位置づけられる。

2.2 水質計測システムに求められる要件

導入するシステムの構成や機能は、各水道事業者の実状に即して決められる。システム検討手順は、①監視範囲の設定(計測箇所、計測項目)→②システム機能仕様の設定→③機器仕様の設定(センサ型式、ネットワーク)→④ソフトウェア仕様の設定となる。

システムに最低限求められる機能(要件)は、取水

1 監視体制の整備: 事故早期検知



2 事故時対策体制の整備: 迅速対応



Fig. 1 System for Water Quality Risk Management

場、浄水場などの水道施設向け、管理計画部門も含む全庁向け、水需要家への水質情報公開も想定した一般向けなどで範囲分けできる。

国内外の水質計測システム運用例を後述するが、それぞれのシステムがどんな要件を満たしているかに留意して参照されたい。

3. 汚濁物質検出に利用される各種センサ

水質汚染事故の初期においては、その汚染物質の特定は難しい。まず、生物に対して有害作用を示すかが汚染物質監視の第一段階となる。このことから、生物を用いた計測システムは、水質汚染事故に対する初動の検知系として有効である。第二段階として、生物に有害作用を及ぼした現象に対して、有害物質の推定を速やかに実施することが求められる。この過程では、生物による監視では詳細な情報は期待できず、理化学的な計測システムを利用することになる。両者を併用することで、検知の迅速性と定量性とを同時に実現することが期待できる。本章では、生物学的センサ・装置と理化学的センサ・装置の現状と課題について概観する。

3.1 生物学的センサ

生物学的センサ³⁻⁵⁾etc. (バイオモニター、バイオセンサ)は、生物の応答から水質の異常を察知する方法で、毒性物質検知の第一報を与えるツールと位置づけられる。

国内で利用される化学物質の種類は年々増加しており、個々の化学物質の化学分析的方法による管理には限界があると考えられている。生物を利用した水質監視法は水質規制の化学物質の他、未規制の化学物質、反応副生成物や生物分解物、あるいはこれら複合物質の相乗効果などを含め、簡便に短時間で総括的に生物に対する毒性という視点での水質情報を得ることができる。

現在、監視計器として自動化されている装置は、急性毒性レベルの突発水質汚染事故に対して迅速な対応・処置を行える利点があり、これによる水質異常の早期警戒システムの構築が可能である。しかしながら、一方で生物学的監視装置は、生物の応答から水質の異常を察知することから、水質異常を引き起こした原因物質を特定すること、原因化学物質の個々の濃度レベルを把握することはできない。また、水質汚染事故の大部分を占める油分や油膜・油臭、異臭味の検出や慢性毒性濃度レベルの低濃度有害化学物質の検出も、現状では、判定が難しいなどの限界があり、これらの限界を踏まえた対応や運用が必要である。例えば、水質異常検出時に同時に試料採取を行い、理化学的監視装

置により、毒性物質の特定を自動的に行えるような水質検査体制、浄水処理での対策などを支援できるシステムの構築が必要である。

生物監視装置の今後の展開として、

- ① 生物の特性を踏まえた複数種の生物の組合せで構成する監視装置の開発
- ② 急性毒性レベルから慢性毒性レベルへの高感度化のための研究開発
- ③ 化学物質への各種生物応答の定量化・数値化とそのデータベース構築
- ④ 発癌性、神経毒性、遺伝毒性、内分泌攪乱性など、人の健康への影響の総合評価に向けた研究開発
- ⑤ サンプリング装置から前処理・各種理化学的監視装置による毒性物質の特定までを自動的に行うシステムの研究開発

がさらに進むと考えられる。

3.2 理化学的センサ

理化学的センサは、溶解している物質を光や電気化学的な検出器により信号化する。代表的に利用されている製品は、残留塩素計、pH計、濁度計などの電気化学的なセンサである。近年では環境問題及び健康に関するリスク管理の手段であるVOCの一斉分析、LC/GCを用いた農薬項目等の一斉分析のための装置も製品化されている。

また、水質規制の化学物質、未規制の化学物質に対応したクロマトグラム手法などのラボ分析をオンライン化したセンサが採用され始めている。快適項目に対応した臭気などの五感をセンサで再現する新たな試みも製品化され始めており、測定項目の多様化、高感度化、高精度化が進展している。

これらセンサを用いることにより、従来とはレベルの異なる突発水質汚染事故の監視、きめ細かい原水管理の体制が整いつつある。更なる普及のための課題としては、下記の3項目が重要である。

1) メンテナンス性

センサが多項目、高感度であるほど、必要となるメンテナンス作業が増加する傾向にある。クロマトグラムを利用したセンサは高感度の測定が可能であるが、これに比例してメンテナンスが必要となる。オンライン化によるメンテナンスの増加は、採用するにあたっての管理体制を十分検討する必要がある。

2) 経済性

センサが多項目、高感度であるほど、導入・運用コストが増加する傾向にある。特に低濃度を高精度で検知する場合には、前処理機器の高度化が必要となり、コスト上昇の要因となる。これらのセンサを採用するに当たっては、原水モニタリングにとどまらず、浄水

制御、配水制御などのための制御データとして採用するなど、トータルシステムとしての経済性を検討する必要がある。

3) 分析項目の拡大

現状ではオンラインセンサとして測定できる分析項目は限られている。これは、前処理方法、センサ、カラム、及び試薬の適用範囲が限られているからである。現状においては、急性毒性物質への対応として、生物学的監視装置を並行して採用することが必要である。

理化学的監視装置の今後の展開として、

- ① 味覚などの五感センサの拡大
- ② 生物学的監視装置との融合による急性毒性と慢性毒性への並行対応
- ③ 測定手法の簡略化
- ④ ラボ分析オンライン化とシステム化の進展による総合水質管理の実現

がさらに進むものと考えられる。

4. 水質計測システムの運用事例

4.1 海外の取組み例

海外では、河川の水質モニタリング及び汚染物質漏洩事故の早期発見と通報体制が重要視され、水質監視体制の整備が進んでいる。国際河川を有するヨーロッパ諸国においては、水質保全に関する国際協力がとられており、河川流域全体を網羅するモニタリング体制及び情報通報体制が構築されている。

ここでは、水質監視体制の先駆的研究組織「河川流域プログラム」(River Basin Program)におけるシステム運用例を紹介する。

(1) 河川流域プログラム概要

河川流域プログラムは、1990年に設立されたライン川流域プログラム(Rhine Basin Program)をヨーロッパ河川流域に広げて発展させたもので、1997年1月から開始された。本プログラムは水環境の改善を目指す機関(大学、政府及び民間の研究所、水道事業体など)の自主的な活動であるため、公的な組織とは異なり、法的拘束のない柔軟で開かれたパートナーシップにより運営されている。

1986年にスイス・バーゼルで起こったサンドス(Sandoz)社の火災事故によるライン川への農薬汚染は、ヨーロッパでの水環境問題の象徴的事例として知られている。これを契機に、ライン川流域プログラムはライン川の水質改善を対象とすることを採択した。

本プログラムの目的、最終目標、研究計画は、賛同機関会議で討議され、三段階の研究方針が決定された。第一段階は、当時問題となっていた農薬、殺虫剤、有機スズ、スルホン酸、リン酸エステル等の分析法の開発、第二段階はこれらを測定するためのオンライン・

オンサイト自動測定装置及びデータ処理ソフトの開発であった。第三段階は、連続自動測定装置のデータ情報をネットワーク化してライン川のリスク評価を行い、より良い水質・生態の基盤をつくることを目標としている。

(2) 導入システム

河川流域プログラムの成果の一つとして、表流水中の有機化合物の連続自動測定システム(SAMOS; System for Automated Measurement of Organic Contaminants in Surface Water)が開発された。開発されたSAMOS⁶⁾には、測定システムに用いられるSAMOS-LC-MS(液体クロマトグラフ/質量分析装置)、SAMOS-GC-MS(ガスクロマトグラフ/質量分析装置)、及びこれらを組み合わせたマルチ分析システム等があり、試験室における分析の自動化、及び河川に設置するオンライン連続自動測定に活用されている。また、測定データは、情報システムAQUALARM⁷⁾に伝送されている。このほか、化学的監視システムであるSAMOSの開発と併行して、様々な生物学的監視システムが開発され、毒物検知に活用されている。

AQUALARMには、監視データが伝送され、データの保存と解析、Webでの公開(Fig. 2は微生物活動量による生物学的監視のデータ例)が行われている。合成化学物質濃度が基準値を超えた場合、若しくは魚類やダフニアなどの生物学的監視システムで異常が認められた場合には、その情報が連絡され、重大な汚染事故の際には警報が連絡される体制が組まれている。また、原因物質が流れ去った際にも、警報解除の情報が通報される。

SAMOSでの測定は水質基準項目だけでなく、通常のクロマトグラムと比較して測定ピークに異常があればその情報が連絡される。そして、内陸水管理・排水処理研究所(RIZA)などの指導的機関で目的物質の同定、定量が行われる。常時は検出されていない物質の発見に努め、水質異常を早期に通報するシステムの構築が継続されている。

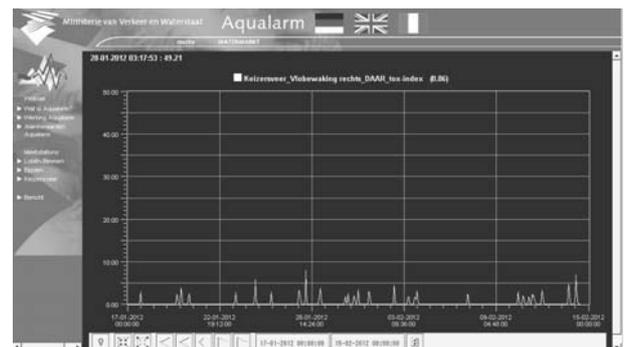


Fig. 2 Monitoring Data Disclosure by AQUALARM

4.2 国内の取組み例

(1) 札幌市水道局の取組み

札幌市は豊平川、琴似発寒川および星置川の3河川を水源としており、水利権の98%を豊平川にもとめている。豊平川の上流には豊平峡ダムと定山溪ダムがあり、どちらも緑豊かな支笏洞爺国立公園内に位置していることから大規模な汚染源は少なく、恵まれた水環境にあるといえる。しかし、豊平川上流域には鉾山や温泉街等があり、突発的な水質汚染事故の発生する可能性も抱えている。過去には、鉾山の廃滓輸送管からの廃水漏洩や温泉水揚水施設からの油流出による水質汚染事故を経験しており、水源水質の連続監視と汚染源情報の整備が急務となっていた。

こうしたことから札幌市では、将来にわたる水道水の安全性の確保に向けて、水質監視体制のより一層の強化と水質情報の効率的な運用を目指して、平成9年度から「水質情報管理システム」⁷⁾を構築した。

本システムは、水源水質監視のみならず、給水栓までの水質管理を一連のものとしてとらえ、水源及び給配水の水質連続監視と、膨大な水質情報のデータベース化による一元管理を目指した。ここから得られるきめ細かな水質情報を、浄水プロセスにフィードバック、水質異常時の状況判断、水源水質の将来予測に用いている。また、情報公開の手段として市民への水質情報の提供等にも活用している。これにより、水質管理に携わる職員の精神的な負担軽減と市民の水道水質に対する信頼性の向上が期待される。

(2) 導入システム

導入されたシステムを Fig. 3 に示す。システムの概要と運用状況を水源監視の機能を中心に述べる。

1) 水源水質の連続監視

札幌市の主要な水源である豊平川水系については、

Table 1 Water Quality Items Online Monitored by SAPPORO System

水系	監視地点	測定項目
豊平川	白滝橋	電気伝導率, pH
	一の沢ダム	水面監視カメラ
	砥山ダム	水面監視カメラ, バイオアッセイ, 濁度, 電気伝導率, pH
	簾舞注水口	電気伝導率, pH, アンモニア性窒素, 塩素イオン, 油臭気, バイオアッセイ
琴似発寒川	発寒川取水場	アンモニア性窒素, 油臭気, pH, 水面監視カメラ, バイオアッセイ, 濁度, 電気伝導率
その他	その他取水場	水面監視カメラ, バイオアッセイ

河川上流の3地点に水質自動監視所を設置するとともに、取水地点にも水質管理計器を設置している。Table 1 に示した測定項目のデータを、専用線を介して伝送し、日間は水質試験所及び白川浄水場において、また夜間は白川浄水場において監視している。

白滝橋監視所は白川浄水場の約14km上流の国有保安林内に位置し、積雪寒冷という環境の中での監視のため、ここには耐寒性を重視した水質管理計器用自立盤を設置した。また、鉾山排水の監視という汚染源の特性と冬期間のメンテナンス性を考慮して、測定項目はpH値と電気伝導率の2項目としている。

砥山ダム監視所は白川浄水場の約6km上流に位置し、豊平川水系の最も重要な監視地点であることから、監視小屋を建設し水質管理計器を設置した。ここではpH値・濁度・電気伝導率の水質3項目とITVカメラ2台により河川水で飼育している魚類とダム内水面を監視している。

さらに、白川浄水場及び藻岩浄水場の取水地点である簾舞注水口へも、既設の濁度計・魚類監視装置の他にpH計・電気伝導率計・アンモニア性窒素計・塩素イオン計・油分監視計を増設した。また、市街地を流れていることから人為的汚染頻度の高い琴似発寒川水

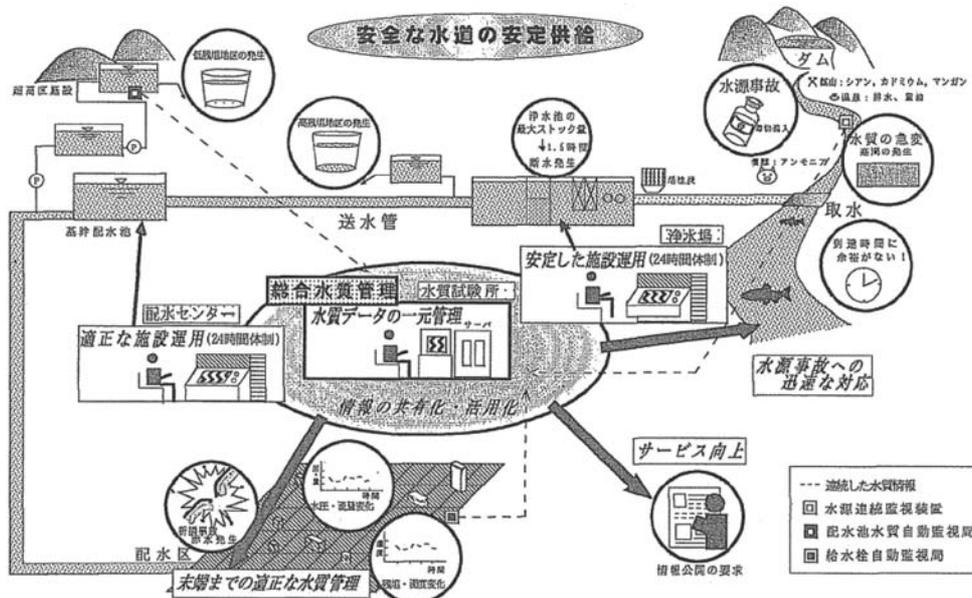


Fig. 3 Outline of SAPPORO Water Quality Information Management System

系の取水地点に、アンモニア性窒素及び油分の連続監視計器を増設し、日中は水質試験所及び西野浄水場において、また夜間は西野浄水場において監視している。

2) 水質情報の一元管理

水質情報データベースは、本システムで新たに収集する水源データや給配水データと、既存の浄水プロセスデータなどの連続データ、及び水質試験所で行っている様々な試験データを一元的に管理し、より迅速に利用できる。具体的には、水質予測や配水管網残留塩素シミュレーションなどの予測システムの整備、水源水質汚染事故への迅速で適切な対応に資するための流域環境情報システムの整備、河川流達予測システムの整備等により、水質管理の機能増強を行っている。

(3) システム運用等

1) 豊平川河川流達時間予測の実績

豊平川水系は上流に大小の発電用ダムが点在している。これまでの水源汚染事故や連続監視データの日変化トレンドから、豊平川に間欠的に流入する発電放流水がその流れに大きな変動を生じさせ、浄水場への流達時間や水質の予測に大きな影響を与えていることがわかった。このため、河川の流量調査を実施し、この調査結果をもとに流達時間予測プログラムを作成した。現在のところオフラインではあるが、汚染物質の流達時間予測が可能となった。

平成10年の重油流出事故や行われたダムの浚渫の際にも、このプログラムを利用した。流達時間を計算することで、現場監視のための人員配置の設定や下流域や浄水場到達時の希釈率推定が可能となり、適切に事故対応できた。

2) 監視計器の維持管理

監視計器の性能チェックや部品交換等の維持管理は、メーカー等の専門業者に委託して毎月定期的に行っている。これ以外にも配管の詰まりや、サンプル管の流量減少等、様々なトラブルが発生することがあり、迅速な対応が必要であることから、技術者が市内に常駐していることが望ましいとの要望が出ている。

5. お わ り に

本稿では、汚染物質漏洩に関わる危機管理に向けた水質計測システムの現況について述べた。こうしたシステムに適用される水質センサ開発の取組みは継続的に行われており、技術的な完成度は高まっている。他方、システム運用に当たっては相応の費用発生が避けられないため、本格的なシステム導入は先進的な事業者などに留まっているのが現状である。

導入障壁を低くするためにも、経済性に優れる水質計測技術、センサ、システムの開発は今後も重要であり、開発→実利用→更なる開発というポジティブサイクルをしっかりと廻してゆく官学民の一層の取り組みの強化が望まれる。

参 考 文 献

- 1) 国土交通省編：平成22年度国土交通白書，国土交通省（2011）
- 2) 圓佛伊智朗，日高政隆，福島 学，田所秀之：公共施設における河川シミュレーション技術の活用検討，電気学会公共施設研究会資料（PPE-07）（2007）
- 3) 田中正治，山本正視：水質異常の常時監視に関する研究(1)——コイを利用した監視装置——，水道協会雑誌，Vol. 62, No. 5（1993）
- 4) 広田忠彦，依田幹夫：AQUQMAX-Fishによる水質異常検知実験，突発水質汚染の監視対策に関する研究報告書，日本水道協会（1999）
- 5) 田中良春，田口和之，大戸時喜雄，星川 寛，佐々木弘，三森裕司，斎藤芳雄，鹿志村修：バイオセンサを用いた急性毒性物質の連続自動監視装置の開発，環境システム計測制御学会誌，Vol. 1, No. 2（1996）
- 6) M. Purvis, et al.: Determination and Monitoring of Polar Compounds and Acidic Herbicides using a modified SAMOS System, International Journal of Environmental Analytical Chemistry, Vol. 74（1999）
- 7) AQUALARM Web Site : www.aqualarm.nl/
- 8) 今井麻都香：札幌市における水質情報管理システムの構築，衛生工学シンポジウム講演集，Vol. 8（2000）
- 9) 札幌市水道局編：札幌水道長期構想，札幌市水道局（2004）
- 10) 日本水道協会編：突発水質汚染の監視対策指2002，日本水道協会（2002）