

## 目次

環境試料中のイオン成分分析 - イオンバランスを用いる水質の状況把握

生活環境試験サブユニット 常盤 香奈

今月のキーワード： イオンバランス

## 環境試料中のイオン成分分析

- イオンバランスを用いる水質の状況把握 -

生活環境試験サブユニット

常盤 加奈

### はじめに

一般的に水質の調査・分析といえば、排出規制項目（COD、BOD、SS、ヘキサン抽出物質、重金属など）について行うことがほとんどです。

排水処理施設では、排出される前の水質状況を把握することで、その後の有効な手法が検討できます。状況把握の際は水中のあらゆる物質を定量することが最も確実ですが、やみくもに分析しても、コスト面の負担が問題となり、また分析技術や測定精度を考えると必ずしも有効とは言えません。

一方、水質には、その性質を特徴付けるいくつかの測定項目があります。性別により男性、女性を分けるように、いくつかの測定項目を用いてふり分けを行うと、目的に合った水質を知ることができます。

今回は、実際に施設水を使用した事例について紹介したいと思います。

### 水質の性状を示す分析結果

施設流入水槽の気相から、有害な亜硫酸ガス（ $\text{SO}_2$ ）が発生するとの情報より、その原因解明のために、イオンバランスを用いた流入水の評価を行いました。イオンバランスとは、文字通りプラス（+）イオン（「カチオン」という）と、マイナス（-）イオン（「アニオン」という）のバランスを比較するもので、分析精度の評価も可能となります。理論的には、カチオンの総量とアニオンの総量は等しくなります。今回は、表 1-1 に示したように 12 成分を選定しました。そのイオン成分の分析結果と、図 1-1 にイオンバランスを示しました。



表 1-1 イオン成分測定結果

No.	測定項目	測定結果 (mg/l)	イオン当量 <sup>1</sup> (meq/l)	分析方法
1	塩素イオン (Cl <sup>-</sup> )	285	8.04	イオンクロマトグラフ法
2	亜硝酸イオン (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	<0.1	0.00	イオンクロマトグラフ法
3	硝酸イオン (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	<0.1	0.00	イオンクロマトグラフ法
4	硫酸イオン (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	15.8	0.329	イオンクロマトグラフ法
5	硫化物イオン (S <sup>2-</sup> )	<0.1	0.00	メチレンブルー吸光光度法
	[S <sup>2-</sup> + SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> ] 2	1.8	-	イオンクロマトグラフ法
6	臭素イオン (Br <sup>-</sup> )	<0.1	0.00	イオンクロマトグラフ法
7	水素イオン (H <sup>+</sup> )	6.7	0.000000199	ガラス電極法
8	カリウムイオン (K <sup>+</sup> )	94.8	2.42	イオンクロマトグラフ法
9	ナトリウムイオン (Na <sup>+</sup> )	186	8.09	イオンクロマトグラフ法
10	カルシウムイオン (Ca <sup>2+</sup> )	11.3	0.56	イオンクロマトグラフ法
11	マグネシウムイオン (Mg <sup>2+</sup> )	60.0	4.94	イオンクロマトグラフ法
12	アンモニウムイオン (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	50.2	2.78	イオンクロマトグラフ法

備考 1. イオン濃度換算式；イオン当量 (meq/l) = 測定結果 (mg/l) ÷ 分子量 (g/mol) × 価数 (eq/mol)  
 2. [S<sup>2-</sup> + SO<sub>3</sub><sup>2-</sup>] = SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (過酸化水素による酸化) - SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (無処理)

## 水質の評価

測定された濃度 (mg/l) から、イオン当量 (meq/l) を算出すると、図 1-1 のようなイオンバランス図を作成することができます。表 1-1 より、塩素イオン (Cl<sup>-</sup>) が 8.04 meq/l、ナトリウムイオン (Na<sup>+</sup>) が 8.09 meq/l であるので、Cl<sup>-</sup> Na<sup>+</sup> から、流入水は NaCl (塩化ナトリウム) が主成分であると考えられます。

一方で、イオンバランス図では、アニオンが 8.37 meq/l、カチオンが 18.8 meq/l であり、カチオンリッチの結果となりました。今回の測定項目の他には、アニオンではりん酸イオン (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)、炭酸イオン (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) 等、カチオンでは、鉄イオン (Fe<sup>3+</sup>) 等が存在するものと考えられ、今回定量した K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup> は、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> とバランスが取れることが想定されましたが、一部でイオン不均衡の可能性も推測されました。

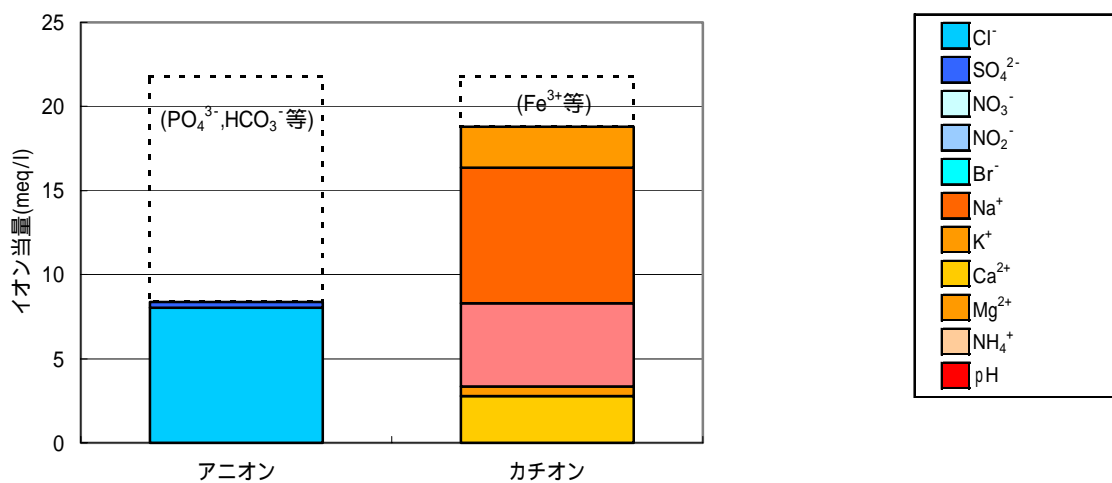


図1-1. アニオンとカチオンのイオンバランス

次に、S (硫黄) 化合物、N (窒素) 化合物の形態を、図 1-2 のようなレーダーチャートに表しました。S 化合物も N 化合物も、水に溶けている酸素の量 (溶存酸素) によって形態が変わるため、そこから水質を把握することができます。

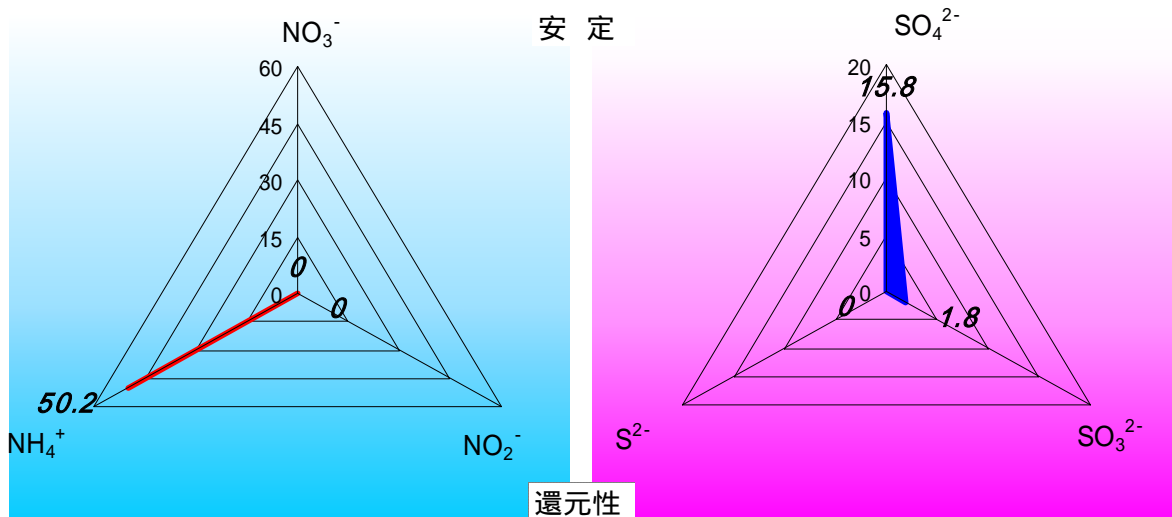


図1-2. N系イオンとS系イオンのレーダーチャート(単位:mg/l)

例えば、S系のイオンには、硫酸イオン ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) の他に、硫化物イオン ( $\text{S}^{2-}$ )、亜硫酸イオン ( $\text{SO}_3^{2-}$ )、硫酸イオン ( $\text{SO}_4^{2-}$ )、チオ硫酸イオン ( $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ) 等が考えられますが、「下水流入水であること」より、 $\text{S}^{2-}$ 、 $\text{SO}_3^{2-}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  に着目しました。[ $\text{S}^{2-} + \text{SO}_3^{2-}$ ] は、試料に過酸化水素水を添加して酸化を行い、 $\text{SO}_4^{2-}$  としてイオンクロマトグラフにて測定し、無処理の  $\text{SO}_4^{2-}$  を差し引く方法で定量しました。その結果、[ $\text{S}^{2-} + \text{SO}_3^{2-}$ ] が 1.8 mg/l ( $\text{S}^{2-}$  が 0.1 mg/l 以下、 $\text{SO}_3^{2-}$  は 1.8 mg/l) でしたので、この時点で  $\text{SO}_2$  の供給源は、還元雰囲気での  $\text{S}^{2-}$ 、 $\text{SO}_3^{2-}$  の寄与と考えられました。

N系のイオンでは、亜硝酸イオン ( $\text{NO}_2^-$ ) と硝酸イオン ( $\text{NO}_3^-$ ) は 0.1 mg/l 以下、アンモニウムイオン ( $\text{NH}_4^+$ ) は 50.2 mg/l でした。一般的に、下水流入水ではそのほとんどがケルダール窒素 (Tk-N); [有機態窒素 (Org-N) + アンモニア態窒素 ( $\text{NH}_4\text{-N}$ )] であるため、特異性はないと考えます。

なお、水質の属性情報を知る目的で、酸化還元電位 (ORP)、溶存酸素 (DO)、よう素消費量の試験を行いました。分析結果は表 2-2 に示しました。

表 2-2 その他成分の分析結果

	測定項目	単位	測定結果
1	酸化還元電位 (ORP)	mV	-77.5 (20 )
2	溶存酸素 (DO)	mgO/l	<0.5
3	よう素消費量	mg/l	8

表 2-2 から、ORP は 77.5 mV でした。ORP は、+ であれば酸化、- では還元の性質を持ちます。それに加え、還元性の有無を表す、よう素消費量が 8 mg/l であったことから、流入水中に還元剤が存在することが再確認できました。それ故に、還元剤の存在から、試料は酸素不足にあることが想像できます。確認のため、DO を測定すると 0.5 mg/l 以下であり、流入水はほぼ無酸素、または貧酸素状態であることがわかりました。

## まとめ

以上の測定分析結果より、次のことがわかりました。

- (1) 対象試料のイオン主成分は、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Na}^+$ であり、イオン当量 ( $\text{Cl}^-$   $\text{Na}^+$ ) から、 $\text{NaCl}$  として存在している可能性が高いことが推測された。
- (2) 対象試料のイオンバランスは、カチオンリッチであり、一部でイオン不均衡の可能性が考えられた。
- (3) N系のイオンでは、 $\text{NH}_4^+$ 、S系のイオンでは、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{SO}_3^{2-}$ が検出された。
- (4) ORP、DO、よう素消費量から、対象試料は還元雰囲気下及び貧酸素雰囲気下にあったことが示唆された。
- (5) 還元雰囲気下では、イオン態は極めて不安定な状態のため、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{SO}_3^{2-}$ は亜硫酸ガス ( $\text{SO}_2$ ) として、 $\text{NO}_2^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ は亜酸化窒素ガス ( $\text{N}_2\text{O}$ ) または窒素ガス ( $\text{N}_2$ ) となって大気中に放出されていることが推測された。

今後の課題として下水流入水等の試料の評価には、ガス成分 ( $\text{SO}_2$ 、 $\text{N}_2\text{O}$ )、T-P、 $\text{PO}_4^{3-}$ 及び微生物の分析や、現場での簡易測定として pH、ORP、EC 等を併用して継続的にモニタリングする必要性を感じました。

## おわりに

水質、大気、土壌等の、環境中のあらゆる分野において、今後は排出されるものに対する調査だけでなく、流入段階から環境汚染を未然に防ぐための技術と、それを計測する技術が必要とされています。最近では、流入の前段階、つまり製品プロセスから環境負荷を低減するための技術も求められており、その計測技術は複雑になる一方です。しかしながら、この流れは、LCA (Life Cycle Assessment) に沿っており、出口規制から時代が変化しつつある徴候を読み取ることができます。

分析測定業務は、計測器の発達により、ラボからフィールドでの測定が可能になりデータ取得が容易になる傾向にあります。しかし、試料の採取からデータ確定までの流れは、その一瞬一瞬が固有のものであり、決して過去に戻ることはできません。今回の事例のように、調査・分析には、綿密な計画と慎重な作業が不可欠な要素となります。我々は測定分析の原点に戻り、この一瞬一瞬を大切にするとともに、データから導き出される付加情報を読み取るための広い知識と視点を培っていきたいと考えます。

## 今月のキーワード

### イオンバランス

生体では、+イオンが増加してこのバランスが崩れると、疲労感や不眠、頭痛、イライラ、生活習慣病など人間の体に様々な影響を与えていると言われています。このため現在では、水辺から大気中に生成する - イオンが注目を浴びています。よく目にするものでは、清涼飲料水やミネラルウォーターのラベルに記載されたミネラル表、温泉で掲示している成分表などがあります。これらはイオンバランスが標記されているようなものと言えるでしょう。

基本的に、水は - イオンと + イオンがバランスを保って溶存しており、理論的には - イオンと + イオンの総量は等しくなります。その分析は、イオンクロマトグラフによって行われることが一般です。

## 編集後記

今月号には、生活環境試験サブユニットの常盤さんが投稿してくれました。排水処理施設から発生する有害なガスが何か、また何故出てくるのかを、水の分析を通して原因究明したとても面白い事例です。他の社員も仕事の上での発見や体験などを紹介ください。(堀江)

発行 グリーンブルー株式会社

URL: <http://www.greenblue.co.jp/>

横浜本社 〒221-0822 横浜市神奈川区西神奈川 1-14-12  
Tel.045-322-3155 Fax.045-322-3133

東京本社 〒144-0033 東京都大田区東糀谷 5-4-11  
Tel.03-3745-1411 Fax.03-3745-1413

編集人 堀江宥治