

# 地下水の環境基準を超過した井戸の周辺地区調査

高村範亮・八児裕樹・常松順子

福岡市保健環境研究所環境科学課

## Survey of the Surrounding Area of a Well Exceeding Environmental Standard of Lead for Groundwater

Noriaki TAKAMURA, Hiroki YACHIGO and Junko TSUNEMATSU

Environmental Science Section, Fukuoka City Institute of Health and Environment

### 要約

福岡市では、令和元年度に鉛の環境基準超過が確認された井戸及び周辺井戸において、汚染井戸周辺地区調査を実施した。調査は鉛の測定に加え、イオン成分も測定し、各井戸の水質を解析した。イオン成分の測定結果については、イオンバランスや電気伝導率の計算値と測定値の比較により、測定値が妥当であることを確認した。調査の結果、鉛の環境基準超過は基準超過井戸でのみ確認され、周辺井戸では鉛が検出されなかった。また、イオン成分の測定結果から、トリリニアダイアグラム及びヘキサダイアグラムを作成し、地下水の水質を解析した結果、周辺井戸の1つは基準超過井戸と同じ帯水層であることが示唆された。基準超過井戸の周辺に鉛の排出源となる事業場は無かった。基準超過井戸の配管の材質は不明であるが、設置は1950年ごろと推定され、約70年が経過しており、水道に鉛製給水管が使用されていた時期であった。鉛製給水管からは鉛が溶出することがこれまでに報告されており、本件については、基準超過井戸における鉛の環境基準超過の原因が、地下水の汚染ではなく、井戸の配管に由来するものと考えられた。

**Key Words** : 地下水 groundwater, 環境基準 environmental standard, 鉛 lead, トリリニアダイアグラム trilinear diagram, ヘキサダイアグラム hexa diagram

## 1 はじめに

福岡市では年に1回、地下水概況調査を実施し、環境基準を超過している井戸が確認された場合は、周辺井戸についても汚染の有無や広がりを確認し、原因究明を行っている。本報では令和元年度に鉛の環境基準(0.01 mg/L)超過が確認された井戸及び周辺井戸において実施した汚染井戸周辺地区調査について報告する。

表1 調査した井戸の概要

|     | 調査月    | 水温<br>(°C) | 深さ<br>(m) |
|-----|--------|------------|-----------|
| 井戸① | 令和元年7月 | 19.3       | 不明        |
|     | 令和元年9月 | 22.9       | 不明        |
| 井戸② | 令和元年9月 | 20.8       | 12        |
| 井戸③ | 令和元年9月 | 21.1       | 5         |
| 井戸④ | 令和元年9月 | 23.0       | 15        |
| 井戸⑤ | 令和元年9月 | 22.0       | 不明        |

## 2 調査方法

### 2.1 調査地点及び調査日

汚染井戸周辺地区調査は7月の地下水概況調査で鉛の環境基準超過が確認された井戸(井戸①)及びその周辺井戸(井戸②~⑤)の5つの井戸で令和元年9月に実施した。調査した井戸の概要を表1に示す。

### 2.2 調査項目

調査は環境基準を超過した鉛の他に、pH、電気伝導率(EC)、ナトリウムイオン( $\text{Na}^+$ )、カリウムイオン( $\text{K}^+$ )、カルシウムイオン( $\text{Ca}^{2+}$ )、マグネシウムイオン( $\text{Mg}^{2+}$ )、塩化物イオン( $\text{Cl}^-$ )、硫酸イオン( $\text{SO}_4^{2-}$ )、硝酸イオン( $\text{NO}_3^-$ )及びアルカリ度(ALK)について行った。なお、ALKは「陸水モニタリング手引き書」<sup>1)</sup>(以下、「手引き書」とする。)に記載されているとお

り、炭酸水素イオン ( $\text{HCO}_3^-$ ) 濃度に相当するものとした。鉛の測定は JIS K0102 の 54.4 ICP 質量分析法により、サーモフィッシャーサイエンティフィック株式会社製 iCAP RQ を使用して行った。その他の項目の測定は手引き書により、pH 及び EC の測定には東亜ディーケーケー株式会社製のマルチ水質計 MM43-X を用い、イオン成分の測定にはサーモフィッシャーサイエンティフィック株式会社製 Dionex Integriion を用いた。また、ALK は滴定法で求めた。ALK を含むイオン成分は、測定で得られた濃度 (mg/L) に「硝酸性窒素等による地下水汚染対策マニュアル」<sup>2)</sup> (以下、「マニュアル」とする。) に記載されている換算係数を乗じて、当量濃度 (mEq/L) を求めた。得られた各イオン成分の当量濃度からマニュアルに記載されているトリリニアダイアグラム及びヘキサダイアグラムを作成し、地下水質の解析を行った。

### 3 結果及び考察

7 月の地下水概況調査における井戸①の鉛、pH 及び EC 並びに 9 月の汚染井戸周辺地区調査における井戸①～⑤の鉛、pH、EC 及び各イオン成分の当量濃度の測定結果を表 2 に示す。

鉛については、井戸①において地下水概況調査と汚染井戸周辺地区調査いずれも環境基準を超過したが、井戸②～⑤では検出されなかった。

イオン成分については、測定結果の妥当性の確認のため、手引き書に基づきイオンバランス ( $R_1$ ) の確認と EC の計算値と測定値の比較 ( $R_2$ ) を行った。イオンバランスについては、電気的中性の原理により、陽イオン当量濃度の合計 (以下、「C」とする。) と陰イオン当量濃度の合計 (以下、「A」とする。) は等しくなるが、両者の差が大きい場合は、いずれかの測定結果に誤りがある可能性がある。そこで、次式により  $R_1$  を算出し、イオンバランスを確認した。

$$R_1 = 100 \times (C-A) / (C+A)$$

C、A 及び  $R_1$  の算出結果を表 3 に示す。なお、C の算出にあたり、pH から算出される水素イオンの当量濃度は井戸①～⑤において 0.001 mEq/L 以下と他の陽イオンの当量濃度と比較して著しく低濃度であったため、計算から除外した。手引き書において、C+A が 0.1 mEq/L より大きい場合、 $R_1$  に関して必要とされる基準は  $\pm 8$  である。井戸①～⑤の  $R_1$  は 1.7～3.8 でいずれも基準を満たしており、イオンバランスの観点からはイオン成分の測定結果は妥当であると考えられた。

表 2 測定結果

| 調査地点 | 調査日 | 鉛 (mg/L) | pH  | EC (mS/m) |
|------|-----|----------|-----|-----------|
| 井戸①  | 7 月 | 0.051    | 6.9 | 47        |
|      | 9 月 | 0.022    | 6.6 | 52        |
| 井戸②  | 9 月 | <0.001   | 6.7 | 110       |
| 井戸③  | 9 月 | <0.001   | 6.6 | 55        |
| 井戸④  | 9 月 | <0.001   | 6.4 | 55        |
| 井戸⑤  | 9 月 | <0.001   | 6.5 | 46        |

| 調査地点 | Na <sup>+</sup> (mEq/L) | K <sup>+</sup> (mEq/L) | Ca <sup>2+</sup> (mEq/L) | Mg <sup>2+</sup> (mEq/L) |
|------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 井戸①  | 1.3485                  | 0.5376                 | 2.9940                   | 0.7398                   |
| 井戸②  | 6.0900                  | 0.3328                 | 2.9441                   | 1.3152                   |
| 井戸③  | 1.5225                  | 0.5120                 | 2.8942                   | 0.5754                   |
| 井戸④  | 1.8705                  | 0.3840                 | 2.1956                   | 0.4932                   |
| 井戸⑤  | 1.5660                  | 0.3584                 | 2.0459                   | 0.4110                   |

| 調査地点 | Cl <sup>-</sup> (mEq/L) | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mEq/L) | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mEq/L) | ALK (mEq/L) |
|------|-------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------|
| 井戸①  | 0.8742                  | 0.8944                                | 0.2415                               | 3.2000      |
| 井戸②  | 6.2040                  | 1.5184                                | 0.2093                               | 2.4000      |
| 井戸③  | 0.8178                  | 1.1648                                | 0.3381                               | 2.8000      |
| 井戸④  | 1.7484                  | 0.7488                                | 0.7567                               | 1.5200      |
| 井戸⑤  | 1.0152                  | 0.7072                                | 0.4508                               | 2.0000      |

表 3 イオンバランス( $R_1$ )の算出結果

|     | C (mEq/L) | A (mEq/L) | $R_1$ |
|-----|-----------|-----------|-------|
| 井戸① | 5.6199    | 5.2101    | 3.8   |
| 井戸② | 10.6821   | 10.3317   | 1.7   |
| 井戸③ | 5.5041    | 5.1207    | 3.6   |
| 井戸④ | 4.9433    | 4.7739    | 1.7   |
| 井戸⑤ | 4.3813    | 4.1732    | 2.4   |

次に、EC の計算値 (以下、「 $EC_{cal}$ 」とする。) と測定値 (以下、「 $EC_{obs}$ 」とする。) の比較を行った。希薄な溶液では、個々のイオンの当量イオン濃度と無限大希釈における当量イオン導電率から、全体の EC を計算することができる。 $EC_{cal}$  と  $EC_{obs}$  の差が大きい場合は、いずれかのイオン成分の測定結果に誤りがある可能性がある。そこで、次式により  $R_2$  を算出し、 $EC_{cal}$  と  $EC_{obs}$  の比較を行った。

$$R_2 = 100 \times (EC_{cal} - EC_{obs}) / (EC_{cal} + EC_{obs})$$

EC<sub>cal</sub> は手引き書に記載されている各イオン成分の当量イオン導電率を用いて、次式の無限希釈法により R<sub>2</sub> を算出した。その結果を表 4 に示す。

$$EC_{cal} = \sum \lambda_{oi} \times C_i$$

λ<sub>oi</sub> : 無限希釈における当量イオン導電率

C<sub>i</sub> : 当量イオン濃度

表 4 無限希釈法による EC<sub>cal</sub> 及び R<sub>2</sub> の算出結果

|     | EC <sub>cal</sub><br>(mS/m) | EC <sub>obs</sub><br>(mS/m) | R <sub>2</sub> |
|-----|-----------------------------|-----------------------------|----------------|
| 井戸① | 71.1                        | 52                          | 15.5           |
| 井戸② | 136.2                       | 110                         | 10.6           |
| 井戸③ | 71.0                        | 55                          | 12.7           |
| 井戸④ | 73.4                        | 55                          | 14.3           |
| 井戸⑤ | 61.5                        | 46                          | 14.4           |

EC<sub>obs</sub> が 3 mS/m より大きい場合、R<sub>2</sub> に関して必要とされる基準は±9 であるが、井戸①～⑤の R<sub>2</sub> は 10.6～15.5 であり、いずれも基準を満たせなかった。この原因として、無限希釈法は希薄な溶液を前提としており、手引き書では 10<sup>-3</sup> mol/L 未満を例示しているが、今回の井戸はいずれもイオン成分の合計濃度が 10<sup>-3</sup> mol/L 以上であるため、適用できなかった可能性がある。池浦ら<sup>3)</sup> はイオン成分が高濃度に含まれる廃棄物処分場の水試料において、EC<sub>cal</sub> の算出に用いる種々の計算式を検討し、無限希釈法では高めに算出されること、次式で示される Davies-LSA 法では EC<sub>obs</sub> と良好な相関を示し、分析値の精度管理ができることを報告している。

$$EC_{cal} = \sum \lambda_{oi} \times f_i \times C_i$$

$$-\log f_i = \beta \times Z_i^2 \times I^{0.5} / (1 + I^{0.5}) - \alpha \times \beta \times Z_i^2 \times I$$

λ<sub>oi</sub> : 無限希釈における当量導電率

f<sub>i</sub> : イオンの活動度係数

C<sub>i</sub> : イオン濃度

Z<sub>i</sub> : イオン i の荷電数

I : イオン強度 (I = 1/2ΣC<sub>i</sub> × Z<sub>i</sub><sup>2</sup>)

α, β : 非線型最小自乗法により求める係数

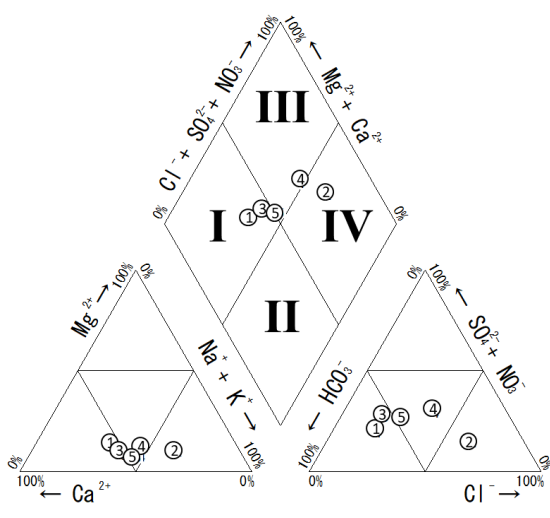
(池浦ら<sup>3)</sup> が報告している α = 0.204, β = 0.321 を適用)

そこで、Davies-LSA 法により、再度 R<sub>2</sub> を算出した結果を表 5 に示す。いずれの井戸も 1.6～7.0 と±9 の基準を満たしており、イオン成分の測定結果は妥当であると考えられた。

表 5 Davies-LSA 法による EC<sub>cal</sub> 及び R<sub>2</sub> の算出結果

|     | EC <sub>cal</sub><br>(mS/m) | EC <sub>obs</sub><br>(mS/m) | R <sub>2</sub> |
|-----|-----------------------------|-----------------------------|----------------|
| 井戸① | 58.6                        | 52                          | 5.9            |
| 井戸② | 113.6                       | 110                         | 1.6            |
| 井戸③ | 58.3                        | 55                          | 2.9            |
| 井戸④ | 63.2                        | 55                          | 6.9            |
| 井戸⑤ | 52.9                        | 46                          | 7.0            |

精度管理で良好な結果が得られたため、イオン成分の当量濃度からトリリニアダイアグラム及びヘキサダイアグラムを作成し、地下水質の解析を行った。トリリニアダイアグラムを図 1 に、ヘキサダイアグラムを図 2 に示



- I 型 : アルカリ土類炭酸塩型  
(通常の河川水や浅い地下水)
- II 型 : アルカリ炭酸塩型  
(淡水の深い地下水)
- III 型 : アルカリ土類非炭酸塩型
- IV 型 : アルカリ炭酸塩型  
(海水及び塩水泉)

図 1 トリリニアダイアグラム

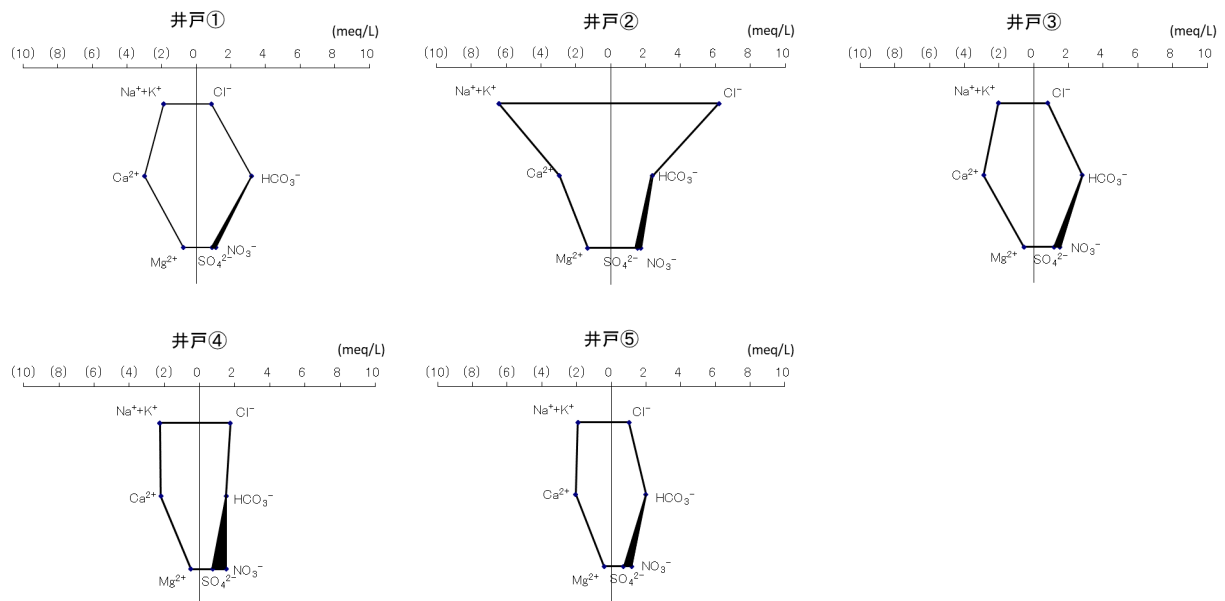


図2 ヘキサダイアグラム

す。図1から井戸①, 井戸③, 井戸⑤は浅層地下水であることが, 井戸②は海水が含まれている可能性が示唆された。また, 図2から鉛が環境基準を超過した井戸①は井戸③と類似したイオン組成であることが示され, 井戸②は他の井戸と比較して  $\text{Na}^+$  や  $\text{Cl}^-$  が高濃度であり, 明らかに特徴が異なっていた。井戸①と③はともに浅層地下水で水質も類似していることから同じ帯水層であると考えられる一方で, 鉛が検出されたのは井戸①だけであった。また, 周辺には鉛の排出源となる事業場も無いことから, 環境基準の超過は井戸①の構造に起因する可能性があった。

鉛については, 鉛管が管内に錆が発生せず, 柔軟性に富み, 加工・修繕が容易であることから, 水道の創設期から1980年代後半まで給水管として使用されてきた<sup>4)</sup>。しかし, 鉛製給水管は鉛が溶出することが報告されており, 現在は布設替えが進められている<sup>4)</sup>。今回, 鉛による環境基準超過が確認された井戸①の配管の材質は不明であるが, 設置は1950年頃と推定され, 約70年が経過しており, この時期は鉛製給水管が使用されていた時期であるため, 配管には鉛製給水管が使用されている可能性がある。また, 鉛製給水管以外に配管として使用される塩化ビニル管についても種類によっては鉛が溶出することが報告されている<sup>5)</sup>。以上のことから, 井戸①で鉛が環境基準を超過した原因は, 地下水の汚染ではなく, 井戸の配管からの溶出と考えられた。

#### 4 まとめ

令和元年度に地下水概況調査で鉛の環境基準超過が確

認された井戸及び周辺井戸において, 汚染井戸周辺地区調査を実施した。その結果, 鉛の環境基準超過は概況調査で確認された1井戸のみであり, 周辺井戸からは検出されなかった。また, イオン成分を測定し, トリリニアダイアグラム及びヘキサダイアグラムを用いて地下水の水質を解析した結果, 調査した周辺井戸の中には基準超過井戸と同じ帯水層の井戸があることが示唆された。この井戸からは鉛が検出されていないこと, 基準超過井戸の周辺に鉛の排出源となる事業場は無いことから, 環境基準の超過は井戸の構造に起因するものと考えられた。基準超過井戸の配管の材質は不明であるが, 過去には鉛製給水管や塩化ビニル管から鉛が溶出することが報告<sup>4)</sup><sup>5)</sup>されており, 基準超過井戸はその設置年数からこれらの材質が配管に使用されている可能性がある。このことから, 鉛の環境基準超過は井戸の配管に原因があると推測された。

#### 文献

- 1) 環境省：陸水モニタリング手引き書（初版），平成17年2月
- 2) 環境省：硝酸性窒素等による地下水汚染対策マニュアル，平成28年5月
- 3) 池浦太莊，他：最終処分場関連水の電気伝導度，全国環境研会誌，37，11～14，2012
- 4) 厚生労働省：鉛製給水管布設替えに関する手引き，平成24年3月
- 5) 下寄かえで，他：地下水観測井戸用塩化ビニル管からの鉛の溶出，長野県環境保全研究所研究報告，8，7～11，2012