

〔短 報〕

石川県内の地下水中に含まれる価数別無機ひ素濃度及び鉄濃度の関係

石川県保健環境センター 環境科学部 佐藤 航・野口 邦雅・吉田 秀一
健康・食品安全科学部 牧野 雅英・安田 能生弘
石本 聖

〔和文要旨〕

既報のとおり当センターの野口らは、陰イオン交換樹脂カートリッジを用いた固相抽出法により、無機ひ素を価数別 (As(Ⅲ)及びAs(V)) に分離し、それらの濃度を定量することができた。

しかしながら、一部の検体において回収されないひ素が見られたため、鉄の影響を検証したところ、一般的に水酸化鉄(Ⅲ)存在下ではひ素と共沈を生じるため、ひ素の回収率が低下することが分かった。

また、地下水中の鉄濃度及び酸化還元電位を測定し、価数別ひ素濃度との関係を考察したところ、As(Ⅲ)優勢地点で「水酸化鉄還元分解型」の、As(V)優勢地点で「水酸化鉄脱着型」のひ素溶出が起きている可能性があることが推察された。

キーワード：地下水、無機ひ素、陰イオン交換樹脂、無機鉄、ひ素吸着、酸化還元電位

本報の一部は以下で発表した。

第37回全国環境研協議会東海・近畿・北陸支部研究会

2023年1月(紙上開催)

1 はじめに

本県では、水質汚濁防止法に基づき県内の地下水水質の常時監視を毎年実施しており、その結果、ひ素について環境基準値を超過する井戸が多く見られている¹⁾。

その原因については、井戸周辺に発生源となるひ素を取り扱う施設がないことなどから、自然由来によるものと考えられているが、その詳細は分かっていない。

これまで、当センターの野口らは地下水中の無機ひ素の価数(3価の亜ひ酸(以下、「As(Ⅲ)」という。))及び5価のひ酸(以下、「As(V)」という。))に着目し、これらを分離定量する方法を検討した²⁾。当手法(以下、従来法という。)は図1に示すとおり、水溶液のpHを

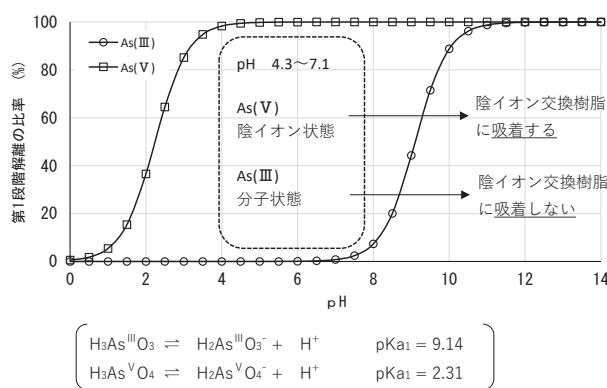


図1 pHに対する無機ひ素の価数別解離率

中性付近にすることで、ひ素の化学的な形態(陰イオン状態もしくは分子状態)をコントロールしたのち、陰イ

Relation between Inorganic Arsenic and Iron Concentrations by Valence in Groundwater at Ishikawa Prefecture. by SATOU Wataru, NOGUCHI Kunimasa, YOSHIDA Shuichi, MAKINO Masahide, and YASUDA Nobuhiro (Environmental Science Department, Ishikawa Prefectural Institute of Public Health and Environmental Science) and ISHIMOTO Takashi(Health and Food Safety Department, Ishikawa Prefectural Institute of Public Health and Environmental Science)

Key words :Groundwater, Inorganic Arsenic, Anion Exchange Resin, Inorganic Iron, Arsenic Adsorption, Oxidation-Reduction Potential

オン交換樹脂カートリッジを用いた固相抽出法により、無機ひ素を価数別に分離定量するものであった。この手法では、大部分の検体において、地下水ひ素濃度を価数別に分離定量することを可能にしたものの、一部の検体においては、回収されないひ素が見られた ($As(\text{total}) > As(\text{III}) + As(\text{V})$)。

この原因のひとつとして、一般的にひ素は水酸化鉄(III)に吸着し共沈しやすい³⁾ため、水酸化鉄(III)の沈殿が含まれる試料を陰イオン交換樹脂カートリッジに通液すると、ひ素は水酸化鉄(III)に吸着されたまま固相カートリッジ内に残留し、溶出されないのではないかと考えた。

そこで今回、3価鉄(以下、「Fe(III)」という。)が従来法に与える影響を検証するため、ひ素標準試料にFe(III)標準試料を添加し、固相抽出試験を実施した。

また、地下水ひ素汚染には水中の鉄が密接に関与すると考えられていることから、県内のひ素汚染井戸について、地下水中の価数別鉄濃度(2価鉄(以下、「Fe(II)」という。)、Fe(III)及び全鉄(以下、「Fe(total)」という。))を調べ価数別ひ素濃度との関係を考察したので報告する。

2 材料と方法

2.1 試薬等

(1) 標準試料

As(III)標準試料は富士フィルム和光純薬株式会社製のひ素標準液(As100) [As100mg/L] を、As(V)標準試料は関東化学株式会社製のひ素(V)標準原液(As100) [As100mg/L] を、Fe(III)標準試料は富士フィルム和光純薬株式会社製の鉄標準液(Fe1000) [Fe1000mg/L] を使用した。

(2) 試薬

水酸化ナトリウム、酢酸アンモニウム、1,10-フェナントロリン-水和物は富士フィルム和光純薬株式会社製の試薬特級を、酢酸は同社製の精密分析用、濃硝酸、濃塩酸、塩化ヒドロキシルアンモニウムは同社製の有害金属測定用を使用した。

2.2 Fe(III)共存下でのひ素添加回収試験

Fe(III)が従来法に与える影響を検証するため、ひ素標準試料にFe(III)標準試料を添加し、固相抽出試験を実施した。

まず、As(III)及びAs(V)の標準試料を用いて、ひ素濃度が0.01mg/Lになるよう100mLビーカーにて価数別の試料を調製した。次に溶液中のFe(III)濃度が1, 5, 10mg/LになるようFe(III)標準試料を添加し、合計6種類の溶液を調製した。その後0.1N-水酸化ナトリウム溶液(調整用として0.1N-酢酸溶液も使用した)を用いて溶液のpHを約7に調整した。

このときpHが高くなるにつれ、溶液が透明から褐色に変わり徐々に水酸化鉄(III)が生成している様子が見られたため、pH調整後、1時間室温で放置したものを試料とした。

6種類の溶液について、図2に示す方法に従い固相抽出操作を実施した。従来法に加えて、0.1N-硝酸溶液を通液後に、0.5N-硝酸溶液を通液し残留確認を行った(回収液3)。さらにカートリッジを取り外して常温で保管しておき、1週間後に再度0.5N-硝酸溶液を通液し残留確認を行った(回収液4)。

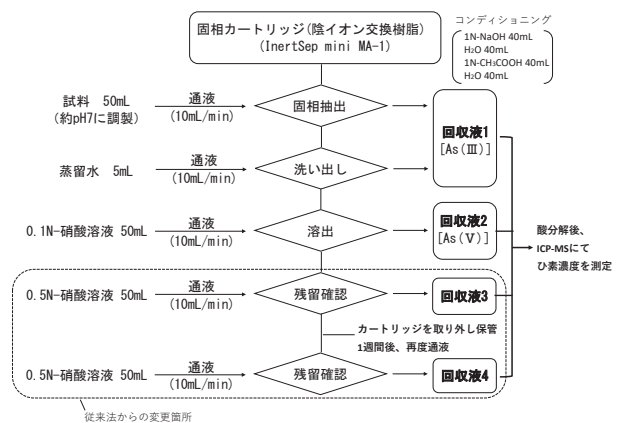


図2 固相抽出操作フロー図(従来法からの変更箇所を含む)

それぞれの回収液に酸濃度が5%となるように濃硝酸を添加後、加熱・濃縮し、ICP-MSによりAs(III)、As(V)濃度を、ICP-OESによりFe(III)濃度を測定した。

2.3 ひ素汚染井戸の価数別ひ素濃度と鉄濃度

(1) 対象井戸

県内のひ素汚染井戸として、2021年度に実施した地下水定期モニタリング調査(ひ素)対象の31井及び2021年度に新たに汚染が見つかった3井の計34井を対象とした。

(2) 価数別鉄濃度の測定

Fe(II)濃度は、上水試験方法に規定するフェナントロリン吸光光度法⁴⁾により定量した。なお、時間経過によりFe(II)が空気酸化されるおそれがあるため、現地地下水採取直後に発色操作を実施し、帰所後に吸光度を測定した。

また、試料50mLに濃硝酸を0.5mL添加し、加熱・濃縮した後、50mLに定容し、ICP-OESによりFe(total)濃度(Fe(II)+Fe(III))を測定した。

(3) 価数別ひ素濃度の測定

As(III)及びAs(V)濃度は、従来法により測定した。

また、As(total)濃度は、試料50mLに濃硝酸を0.5mL添加し、加熱・濃縮した後、50mLに定容し、ICP-MSにより測定した。

(4) 酸化還元電位の測定

アズワン株式会社製のペン型ORP計 ORP70を用いて測定した。なお、時間経過により酸化還元電位(以下、「ORP」という。)が変化するおそれがあるため、現地地下水採取直後に測定を行った。

3 結果と考察

3・1 Fe(III)共存下でのひ素添加回収試験における回収率

標準試料を用いたAs(III)及びAs(V)並びにFe(III)の回収状況を表1に示す。なお、回収率に関しては分画回収率(各操作段階での回収率)及び累計回収率(各操作段階までの回収率の合計)で示している。

表1 各回収液におけるひ素及び鉄の回収率

※回収率：%

| As(III) 0.01mg/L | | | | | As(V) 0.01mg/L | | | | |
|------------------|-------|-----|-------|-----|------------------|-------|-----|-------|-----|
| Fe(III) 1mg/L | As回収率 | | Fe回収率 | | Fe(III) 1mg/L | As回収率 | | Fe回収率 | |
| | 分画 | 累計 | 分画 | 累計 | | 分画 | 累計 | 分画 | 累計 |
| 回収液1 | 69 | 69 | 53 | 53 | 回収液1 | 8.4 | 8.4 | 8.6 | 8.6 |
| 回収液2 | 25 | 94 | 28 | 81 | 回収液2 | 69 | 78 | 67 | 75 |
| 回収液3 | 7.0 | 101 | 15 | 96 | 回収液3 | 18 | 96 | 20 | 95 |
| 回収液4 | 1.9 | 103 | 12 | 108 | 回収液4 | 4.2 | 100 | 7.5 | 102 |

| As(III) 5mg/L | | | | | As(V) 5mg/L | | | | |
|------------------|-------|----|-------|-----|------------------|-------|-----|-------|-----|
| Fe(III) 5mg/L | As回収率 | | Fe回収率 | | Fe(III) 5mg/L | As回収率 | | Fe回収率 | |
| | 分画 | 累計 | 分画 | 累計 | | 分画 | 累計 | 分画 | 累計 |
| 回収液1 | 11 | 11 | 11 | 11 | 回収液1 | 1.9 | 1.9 | 1.0 | 1.0 |
| 回収液2 | 62 | 73 | 60 | 71 | 回収液2 | 93 | 95 | 91 | 92 |
| 回収液3 | 19 | 92 | 20 | 91 | 回収液3 | 8.5 | 103 | 8.2 | 100 |
| 回収液4 | 5.5 | 98 | 16 | 107 | 回収液4 | 0.9 | 104 | 1.5 | 102 |

| As(III) 10mg/L | | | | | As(V) 10mg/L | | | | |
|-------------------|-------|-----|-------|-----|-------------------|-------|-----|-------|-----|
| Fe(III) 10mg/L | As回収率 | | Fe回収率 | | Fe(III) 10mg/L | As回収率 | | Fe回収率 | |
| | 分画 | 累計 | 分画 | 累計 | | 分画 | 累計 | 分画 | 累計 |
| 回収液1 | 6.7 | 6.7 | 4.3 | 4.3 | 回収液1 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 |
| 回収液2 | 86 | 93 | 83 | 87 | 回収液2 | 78 | 79 | 85 | 85 |
| 回収液3 | 7.3 | 100 | 7.7 | 95 | 回収液3 | 17 | 96 | 14 | 99 |
| 回収液4 | 1.4 | 102 | 2.0 | 97 | 回収液4 | 1.6 | 98 | 1.1 | 100 |

<参考>

| As(III) なし | | | | | As(V) なし | | | | |
|---------------|-------|-----|-------|----|---------------|-------|-----|-------|----|
| Fe(III) なし | As回収率 | | Fe回収率 | | Fe(III) なし | As回収率 | | Fe回収率 | |
| | 分画 | 累計 | 分画 | 累計 | | 分画 | 累計 | 分画 | 累計 |
| 回収液1 | 98 | 98 | - | - | 回収液1 | 3.0 | 3.0 | - | - |
| 回収液2 | 2.0 | 100 | - | - | 回収液2 | 95 | 98 | - | - |

As(III)に関して、Fe(III)非存在下においては回収液1にほぼ全量回収されていたのに対し、Fe(III)を添加すると回収率が低下した。回収液1における回収率は、Fe(III)添加量が1mg/Lでは69%、5mg/Lでは11%、10mg/Lでは6.7%となり、5mg/L以上では回収率が大幅に低下することが分かった。

As(V)に関して、Fe(III)非存在下においては回収液2にほぼ全量回収されていたのに対し、Fe(III)を添加するとこちらも回収率が低下した。Fe(III)添加量が10mg/Lでは回収率が79%となり2割ほどの低下となった。

なお、すべての試料に関して、従来法より高濃度の

0.5N-硝酸溶液を用いたことで、回収液3及び4にひ素がほぼ全量回収された。

また、本固相抽出操作の状態の変化として、ピーカー内に生成した水酸化鉄(III)の沈殿がピーカーに残らないよう十分に洗い出しを行ったところ、一部試料(As(III)-Fe(III)濃度1mg/Lの組み合わせ)を除いて固相カートリッジ内に水酸化鉄(III)の褐色沈殿が残り、通過した溶液は透明になった。その後、硝酸溶液を通液することで、カートリッジ内の褐色沈殿は溶出し、溶液は無色から褐色になった。

このことより、ひ素が水酸化鉄(III)と共沈してカートリッジ内に水酸化鉄(III)と共に残留したと考え、As(III)及びAs(V)とFe(III)の累計回収率の相関関係を調べた(図3)。

この結果、全ての条件において、As(III)及びAs(V)とFe(III)の累計回収率に非常に強い相関があることが判明した。つまり、水酸化鉄(III)はAs(III)及びAs(V)と共沈してカートリッジ内に残留する。そしてこれらは硝酸により同時に溶出する。その溶出率にも相関があり、固相中で一般的な鉄とひ素の共沈を生じていることが分かった。

3・2 ひ素汚染井戸における価数別ひ素濃度と鉄濃度の関係

ひ素汚染井戸(34井)における価数別ひ素濃度及び鉄濃度並びにORPの結果を表2に示す。

As(III)の割合が70%以上の地点をAs(III)優勢地点、As(V)の割合が70%以上の地点をAs(V)優勢地点とし、それぞれの位置を地図上にプロットしたものを図4に示す。図4から、概ね県南部はAs(III)が優勢、県北部はAs(V)が優勢であり、汚染井戸のAsの価数には明確な地域差があることが判明した。

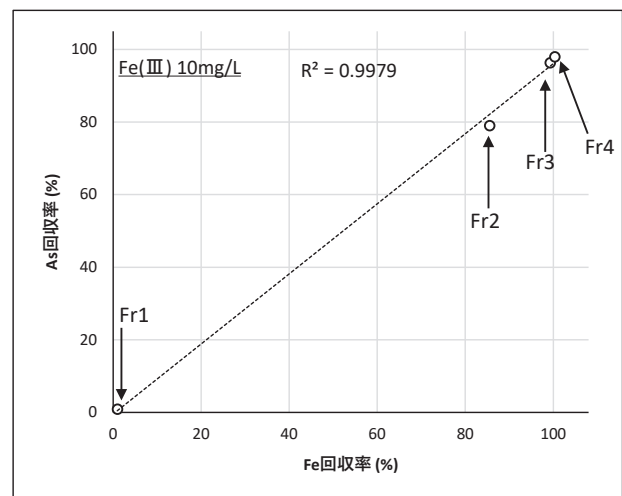
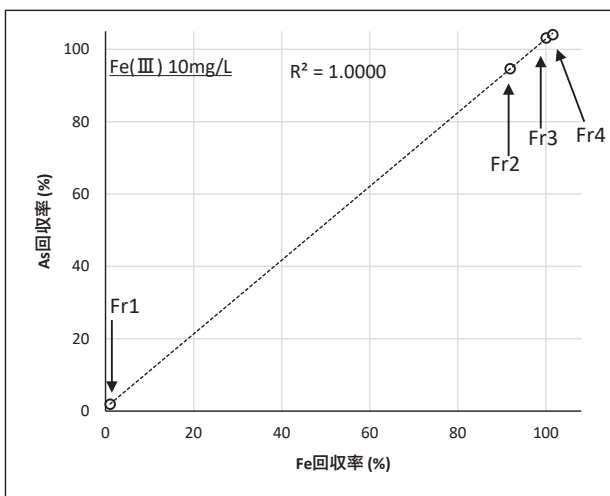
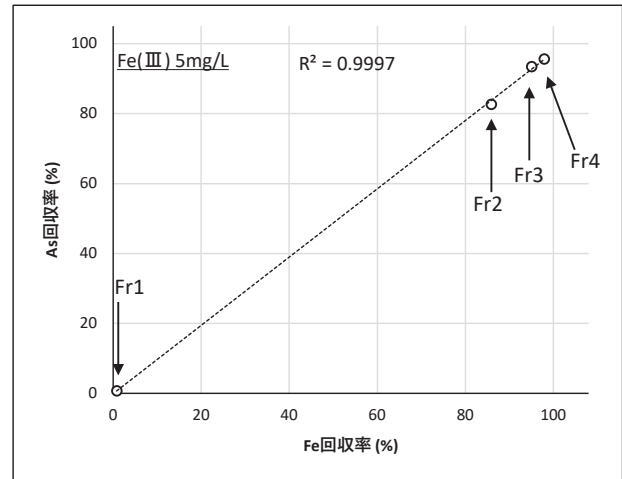
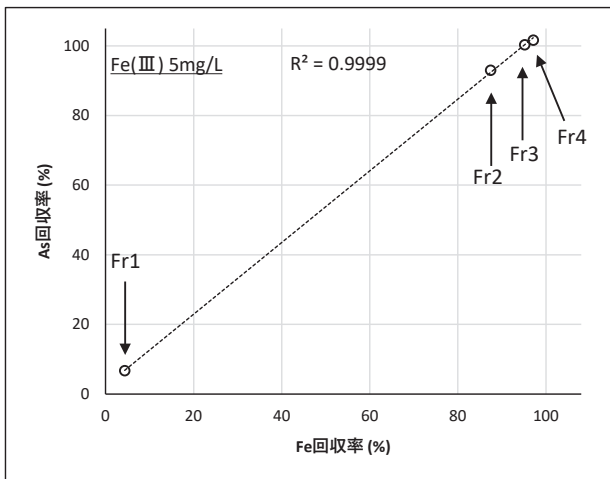
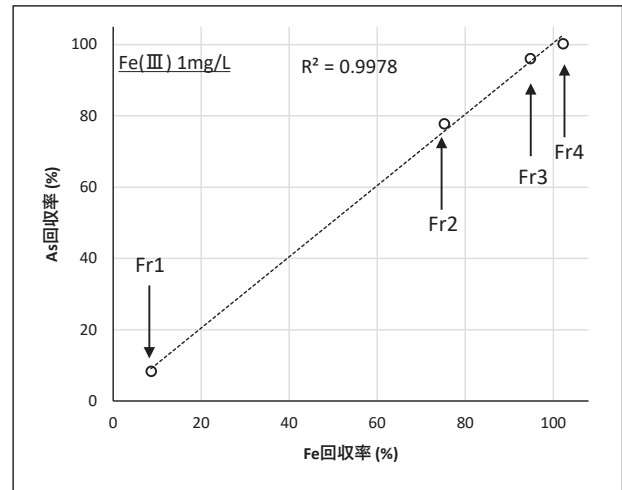
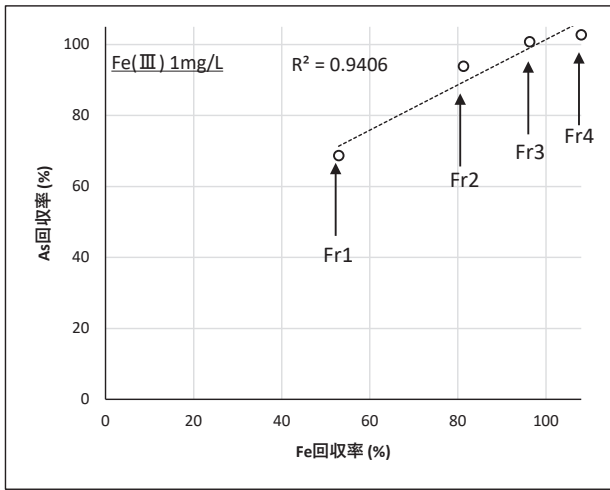
次に各井戸のFe(total)濃度とORPについて、一部地点を除き、As(III)優勢地点においてはFe(total)濃度が高く、ORPがマイナス(還元状態)の傾向がある一方、As(V)優勢地点においては、Fe(total)濃度は低濃度あるいは検出されず、ORPがプラス(酸化状態)の傾向があることが判明した(表2)。

以上より、一部を除きAs(III)優勢地点では地下水が還元状態となっており、ひ素と同時に鉄が溶出している可能性が考えられた。また、As(V)優勢地点では地下水が酸化状態となっており、鉄の溶出は起こっていないことが示唆された。

自然由来の地下水ひ素汚染のメカニズムについては、これまでに様々な研究がなされており、例えば、水酸化鉄鉱物に吸着したひ素が、地下水水質の変化によって溶出するメカニズム(「水酸化鉄還元分解型」、「水酸化鉄脱着型」など)が知られている⁵⁾。

As(III)

As(V)



※Fr (Fraction) : 操作時点番号を表す (回収液1~4)

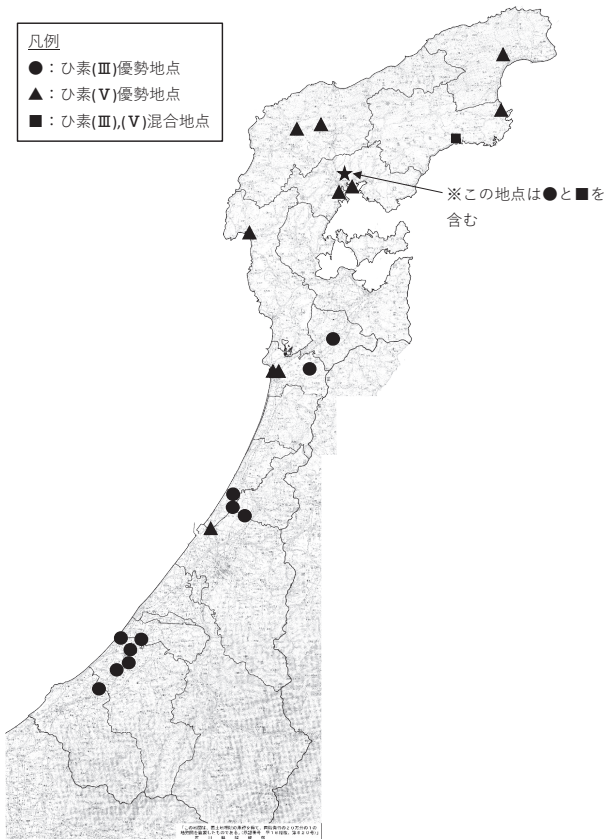
図3 ひ素及び鉄回収率の相関図

表 2 ひ素汚染井戸 (34 井) のひ素濃度及び鉄濃度

| 2021年12月調査及び2022年12月調査 (2022年調査の地点名：中能登1, 珠洲1, 穴水5) | | | | | | | | | | | | | As及びFe:mg/L,As(Ⅲ)%,As(V)%,ORP:mV | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------------------|--------|-------|--------|-------|
| 地点名 ^{*1} | 小松1 | 小松2 | 小松3 | 小松4 | 加賀1 | 能美1 | 能美2 | 能美3 | 能美4 | 津幡1 | 内灘1 | 内灘2 | 内灘3 | 羽咋1 | 羽咋2 | 羽咋3 | 羽咋4 |
| As(Ⅲ) | 0.029 | 0.032 | 0.012 | 0.006 | 0.010 | 0.008 | 0.027 | 0.013 | 0.022 | 0.068 | 0.020 | 0.014 | <0.001 | <0.001 | 0.005 | <0.001 | 0.002 |
| As(V) | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.001 | 0.002 | 0.001 | 0.002 | 0.001 | 0.004 | 0.005 | 0.002 | 0.003 | 0.026 | 0.013 | 0.009 | 0.47 | 0.022 |
| As(total) ^{**2} | 0.030 | 0.034 | 0.014 | 0.011 | 0.012 | 0.009 | 0.028 | 0.013 | 0.026 | 0.072 | 0.024 | 0.016 | 0.025 | 0.013 | 0.014 | 0.46 | 0.025 |
| As(Ⅲ)% ^{**3} | 95 | 95 | 87 | 92 | 84 | 86 | 93 | 95 | 86 | 93 | 93 | 84 | 0 | 0 | 35 | 0 | 7.6 |
| As(V)% ^{**3} | 4.9 | 5.3 | 13 | 8.1 | 16 | 14 | 6.6 | 5.1 | 14 | 7.2 | 7.0 | 16 | 100 | 100 | 65 | 100 | 92 |
| Fe(Ⅱ) | 1.8 | 3.3 | 7.8 | 8.7 | <0.03 | 21 | 21 | 19 | 0.18 | 1.3 | 4.1 | 0.28 | <0.03 | <0.03 | <0.03 | <0.03 | <0.03 |
| Fe(Ⅲ) | 2.9 | 2.2 | 5.2 | 7.3 | 1.0 | 7.0 | 5.0 | 1.0 | 0.09 | 2.7 | 2.2 | 0.57 | 0.03 | <0.03 | <0.03 | 0.03 | 0.36 |
| Fe(total) | 4.7 | 5.5 | 13 | 16 | 1.0 | 28 | 26 | 20 | 0.27 | 4.0 | 6.3 | 0.85 | 0.03 | <0.03 | <0.03 | 0.03 | 0.36 |
| ORP | -72 | -115 | -64 | -26 | 138 | -64 | -53 | -59 | 66 | -25 | -1 | -12 | 27 | 200 | 121 | 260 | 205 |

| 地点名 ^{*1} | 羽咋5 | 羽咋6 | 羽咋7 | 羽咋8 | 羽咋9 | 志賀1 | 中能登1 | 輪島1 | 輪島2 | 珠洲1 | 穴水1 | 穴水2 | 穴水3 | 穴水4 | 穴水5 | 能登1 | 能登2 |
|--------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|
| As(Ⅲ) | 0.002 | <0.001 | 0.002 | <0.001 | 0.026 | <0.001 | 0.012 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | 0.009 | 0.008 | 0.016 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | 0.006 |
| As(V) | 0.010 | 0.013 | 0.011 | 0.011 | 0.003 | 0.014 | <0.001 | 0.007 | 0.010 | 0.010 | 0.005 | 0.011 | 0.001 | 0.011 | 0.016 | 0.008 | 0.008 |
| As(total) ^{**2} | 0.012 | 0.013 | 0.014 | 0.011 | 0.029 | 0.014 | 0.012 | 0.007 | 0.010 | 0.010 | 0.014 | 0.022 | 0.018 | 0.012 | 0.017 | 0.008 | 0.014 |
| As(Ⅲ)% ^{**3} | 14 | 0 | 17 | 0 | 90 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 64 | 41 | 93 | 0 | 0 | 0 | 42 |
| As(V)% ^{**3} | 86 | 100 | 83 | 100 | 10 | 100 | 0 | 100 | 100 | 100 | 36 | 59 | 7.0 | 100 | 100 | 100 | 58 |
| Fe(Ⅱ) | <0.03 | <0.03 | <0.03 | <0.03 | 5.3 | <0.03 | 15 | <0.03 | <0.03 | <0.03 | 0.62 | 0.19 | 4.7 | <0.03 | <0.03 | <0.03 | <0.03 |
| Fe(Ⅲ) | <0.03 | <0.03 | <0.03 | <0.03 | <0.03 | <0.03 | 1.4 | <0.03 | 0.12 | <0.03 | 0.27 | 0.67 | 1.7 | <0.03 | 0.14 | 0.03 | 0.04 |
| Fe(total) | <0.03 | <0.03 | <0.03 | <0.03 | 5.3 | <0.03 | 16 | <0.03 | 0.12 | <0.03 | 0.89 | 0.86 | 6.4 | <0.03 | 0.14 | 0.03 | 0.04 |
| ORP | 205 | 206 | 207 | 458 | -43 | 400 | -92 | 257 | 198 | 194 | 169 | 133 | -53 | 34 | 153 | 185 | 159 |

※1 As(Ⅲ)%が70以上の地点は太字, As(V)%が70以上の地点は斜字としている。
 ※2 一部回収されないひ素があるため, As(Ⅲ) + As(V) = As(total)とならない地点がある。
 ※3 $As(Ⅲ)\% = 100 \times As(Ⅲ) / (As(Ⅲ) + As(V))$, $As(V)\% = 100 \times As(V) / (As(Ⅲ) + As(V))$



※プロットは2km四方に1つとしたため, 1プロット中に複数の調査地点が存在する場合があります, プロット数と調査地点数は異なる

図 4 対象ひ素汚染井戸個数別位置図

「水酸化鉄還元分解型」は, 還元状態の深層地下水において水酸化鉄鉱物が還元分解し, この際に吸着していたひ素が脱離するというタイプである。

一方, 「水酸化鉄脱着型」は, 地下水質が中性から弱アルカリ性に変化した場合, プラスに帯電している水酸化鉄鉱物の表面電荷が弱くなり, 電気化学的に吸着していたひ素が脱離し地下水に溶出するというタイプである。

本調査結果は, ひ素汚染機構における「水酸化鉄還元分解型」において, ひ素の溶出が水酸化鉄鉱物の還元分解により起こることや, 「水酸化鉄脱着型」において, 電気化学的にひ素のみが溶出することに矛盾を生じない。

以上から, 石川県内におけるAs(Ⅲ)優勢地点では「水酸化鉄還元分解型」の, As(V)優勢地点で「水酸化鉄脱着型」のひ素溶出が起こっている可能性が考えられる。

なお, 3.1の結果を考慮すれば, Fe(Ⅲ)が5mg/L以上の地点(本調査においては, 全ての地点が還元状態)について従来法を用いると, ひ素の回収率低下が見られると考えられたが, 実際は一部の地点を除いて回収率の低下は見られなかった。

この理由については以下のとおり考察した。

地下水が還元状態(ORPがマイナス)の検体(例えば小松1など)は, 採水直後は沈殿が確認できないことから, Fe(Ⅲ)は溶存状態であると考えられる。これは, 汲み上げ前は地下水が貧酸素状態であるため, 水酸化鉄(Ⅲ)の沈殿が生成しにくいことが要因と思われる。この検体を放置すると溶液中に酸素が溶け込み, 水酸化鉄(Ⅲ)の沈殿が生じる。

よって採水後直ちに固相抽出操作を行えば, 水酸化鉄(Ⅲ)による妨害を受けないが, 操作を行うまでに時間を要すると, 生成した水酸化鉄(Ⅲ)がひ素を吸着し回収率

が低下すると考えられる。

実際に、回収率の低下が見られなかった一部の検体（小松1，能美2）を常温で保管し5か月後に観察したところ、多量の水酸化鉄(Ⅲ)の沈殿が確認された。これらについて従来法を用いてひ素濃度を測定したところ、回収率の低下が見られた（表3）。

表3 時間経過によるひ素回収率の変化

※濃度：mg/L，回収率：%

| | | 2022.5実施(5か月後) | | 2021.12実施(採水直後) | |
|------|--------|----------------|-------|-----------------|--|
| | 濃度 | 累計回収率 | 濃度 | 累計回収率 | |
| 小松1 | | | | | |
| 回収液1 | <0.001 | 0.4 | 0.029 | 99 | |
| 回収液2 | 0.015 | 52 | 0.002 | 104 | |
| 能美2 | | | | | |
| 回収液1 | <0.001 | 0.3 | 0.026 | 93 | |
| 回収液2 | 0.003 | 12 | 0.002 | 100 | |

今後は、ORP，pH，溶存酸素，主要陽イオン・陰イオン等，様々な水質データについて解析を行い，地下水ひ素汚染機構についてより詳細に考察を行う予定としている。

4 まとめ

(1) Fe(Ⅲ)共存下でのひ素添加回収試験の結果より，水酸化鉄(Ⅲ)存在下で従来法を実施するとAsの回収率が低下することが判明した。

また，一般的に水酸化鉄(Ⅲ)存在下ではAs(Ⅲ)及びAs(V)と共沈を生じるため，固相中においてAsとFeが同じ挙動を示しているということが判明した。

(2) 県内の地下水ひ素汚染に関して，As(Ⅲ)優勢地点においては「水酸化鉄還元分解型」のひ素溶出が，As(V)優勢地点においては「水酸化鉄脱着型」のひ素溶出が起きている可能性があることが推察された。

文 献

- 1) 石川県：令和3年度公共用水域及び地下水の水質測定結果報告書，97-120，石川県生活環境部環境政策課（2022）
- 2) 野口邦雅，吉田秀一，石本聖，牧野雅英：固相抽出法による地下水中無機ひ素化合物の価数別分離測定，石川県保健環境センター研究報告書，59，22-26（2022）
- 3) 産業環境管理協会：五訂 公害防止の技術と法規（水質編），258-260（1995）
- 4) 日本水道協会：上水試験方法 2020年版 II．一般理化学・無機物編，476-477（2021）
- 5) 島田允堯：自然由来重金属等による地下水・土壌汚染問題の本質：ヒ素，応用地質技術年報，No.29，31-58（2009）