

短報

地下水質とGISを利用した福岡県内地下水のふっ素及び砒素の存在状況の把握

秦弘一郎・松木昌也・古賀敬興・柏原学・古閑豊和・平川周作・宮脇崇・志水信弘・松本源生・石橋融子

トリリニアダイアグラムと地理情報システム（GIS）を組み合わせ、福岡県内地下水のふっ素及び砒素の存在状況について調べた。その結果、以下の3点が明らかとなった。1；ふっ素は県内の広範囲で0.08~0.80 mg/Lの濃度範囲で分布していた。2；砒素は県内の中部・南部に局在し、検出下限値(0.005 mg/L)を超える濃度で検出される地点は限定的であった。3；トリリニアダイアグラムによる解析の結果、ふっ素又は砒素が環境基準値を超えた地下水は2種類のグループに分類された。さらに、GISを利用することでふっ素及び砒素の分布と地質の関係が示唆された。

[キーワード：地下水、ふっ素、砒素、GIS]

1 はじめに

福岡県では、水質汚濁防止法第15条第1項及び第2項、並びに第16条に基づき、毎年度、地下水の水質測定を行っている。その結果を県の「環境白書」及び「公害関係測定結果」として報告しており、また、環境省から各年度の地下水水質測定結果として全国の地下水調査のデータが公開されている^{1,2)}。ふっ素と砒素は全国的にも環境基準超過事例の多い項目であり、また、県の地下水概況調査結果においても環境基準超過事例が多くみられる項目である。平成17年度から令和元年度の県内の地下水におけるふっ素及び砒素の環境基準超過事例はそれぞれ8件及び24件であり、そのすべてが公害専門委員の助言や水質比較の結果から、自然的要因に由来する環境基準超過と判断されている。

地下水質の詳細な把握は、有害物質による汚染の原因判断や影響範囲の推定等、生活環境の保全に資する情報となる。県内においては、平成6年2月に県南地域で実施された飲用井戸の検査で砒素の基準値超過が見られたことから、大規模な周辺調査が行われ、詳細な原因究明が行われた事例がある^{3,4)}。しかしながら、広範囲で環境基準の超過が見られた県南地域を除き、県内の地下水におけるふっ素や砒素の存在状況の詳細な把握は不十分である。そこで、県内の地下水におけるふっ素及び砒素の存在状況について、その詳細を把握するために、平成17年度から令和元年度に県が実施した地下水調査と、調査に合わせて行ったイオン成分分析結果を用いて、トリリニアダイアグラムによる水質の比較と地理情報システム（GIS）を用いた濃度分布図の作成及び水質の可視化を行った。その結果、県内におけるふっ素及び砒素の存在状況についての特徴が見られたので報告する。

2 調査方法

2.1 調査対象及び調査時期

解析には、福岡市・北九州市・久留米市を除く26市・29町・2村（令和2年6月現在）において、県が各年度の5月又は6月調査を行った計617件の地下水を用いた。

2.2 水質測定方法

ふっ素及び砒素は平成9年環境庁告示第10号（平成9年3月13日）によって規定された方法で分析した。

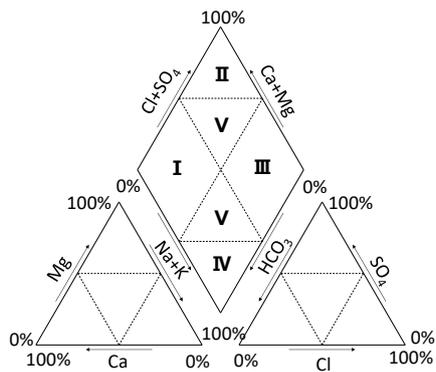
ナトリウム（Na）、カリウム（K）、マグネシウム（Mg）、カルシウム（Ca）、塩化物（Cl）、硫酸（SO₄）の各イオン成分は、JIS K0102（48.3及び35.3）に従ってイオンクロマトグラフを用いて分析した。炭酸水素イオン（HCO₃）は上水試験方法⁵⁾及び鉱泉分析法指針⁶⁾を参考に、検水100 mLに対して、メチルレッド-プロモクレゾールグリーンを指示薬とし、H₂SO₄を用いた滴定法によって測定した。

2.3 GISによる濃度分布図の作成

県内のふっ素及び砒素の存在状況を把握するために、濃度分布図の作成を行った。作図のためのデータベース作成にはMicrosoft Excel 2016を用い、作図はフリーソフトのQGIS（QGIS 3.10）を用いた。地図情報は国土交通省のGISホームページ国土数値情報ダウンロードサービス⁷⁾の行政区画データから入手したものをを用いた。詳細な調査地点が不明の場合は、対象地点が含まれる市町村役場の所在地を代用した。また、作図における凡例は濃度レベルを表し、対象水質の地理的な広がりや意味するものではない。

3 結果と考察

3.1 トリリニアダイアグラムを用いた水質の比較



- I : アルカリ土類炭酸塩型 (Ca・Mg - HCO₃)
- II : アルカリ土類非炭酸塩型 (Ca・Mg - Cl・SO₄)
- III : アルカリ非炭酸塩型 (Na・K - Cl・SO₄)
- IV : アルカリ炭酸塩型 (Na・K - HCO₃)
- V : 中間型

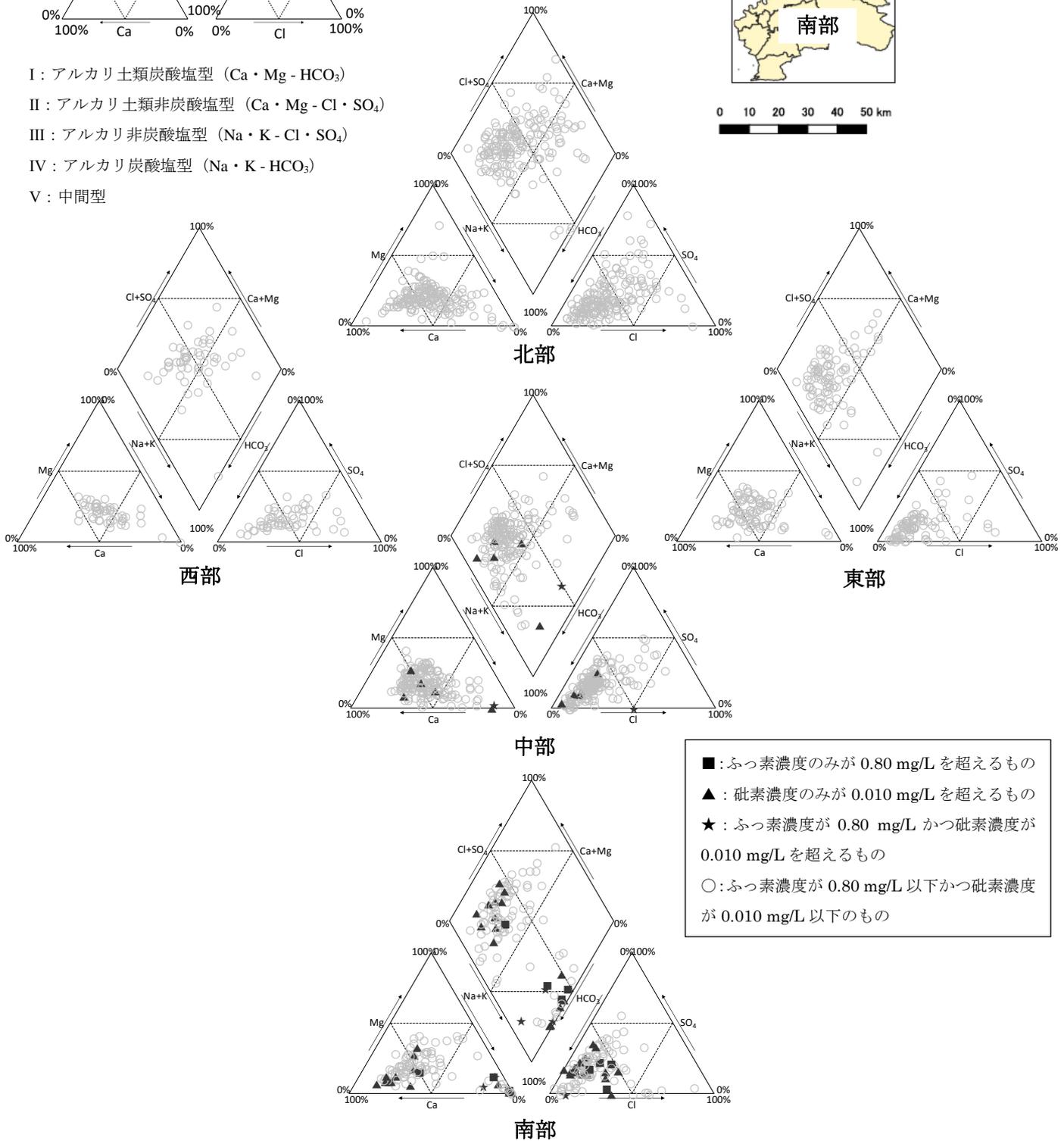
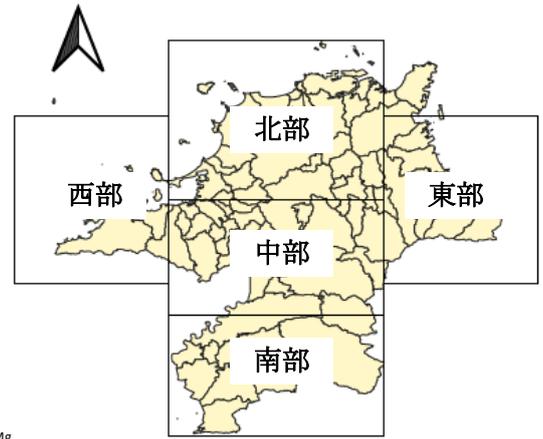


図1 県内地域の地方分類と各地方における地下水質のトリリニアダイアグラム

Na、K、Mg、Ca、Cl、SO₄、HCO₃の測定結果を基に、トリリニアダイアグラムを作成した。県内を西部・北部・東部・中部・南部の5地方に分類し、各地点の水質の比較を行った。県内を5地方に分類した地図と、各地方のトリリニアダイアグラムについて図1に示す。ふっ素及び砒素が環境基準を超過した事例は、県内の中部・南部の地方に多く見られ、環境基準超過地点の水質は主にグループIとグループIVの2種類に分類されることが明らかとなった。また、ふっ素が環境基準を超えた事例のほとんどは、グループIV又はIVに近いグループVに分類された。

3.2 GISを用いた水質の可視化

GISを用いて作成した地下水中のふっ素の濃度分布図を図2-1に示す。ふっ素は地下水環境基準として0.8 mg/Lが定められており、その1/10の0.08 mg/Lが報告下限値である。0.08 mg/Lから0.80 mg/Lまでの濃度で検出された事例は198件/617件であり、県内の広範囲に広がる。比較的濃度でふっ素を含む地下水は県内に広く存在していることが示された。このことは、基盤岩の大半を占めるとされる花崗岩（花崗閃緑岩）及び花崗岩を基にすると考えられる堆積物が、県内において広く分布していること⁸⁾、花崗岩に含まれる黒雲母や角閃石にふっ素が多く含まれること⁹⁾等が原因として考えられる。

図2-2に地下水中の砒素の濃度分布図を示す。砒素は地下水環境基準として0.01 mg/Lが定められており、報告下限値はその1/2の0.005 mg/Lである。県内の大部分で地下水の砒素の濃度は0.005 mg/L以下であった（576件/617件）。砒素の環境基準超過が見られなかった北部・西部・東部において、0.005 mg/Lを超え、0.010 mg/Lまでの濃度で検出された事例は6件/324件であり、その内3件は三郡山地北部の

山麓（宗像市・宮若市・新宮町）に位置していた。中部及び南部で同様の濃度範囲で検出された事例は11件/293件であり、検出事例の多くが中部及び南部に局在していた。

3.3 県内のふっ素及び砒素の検出原因の推定

ふっ素又は砒素が環境基準を超えた地点の水質は、主にグループIとグループIVの2種類に分類された。主にグループIVに分類されるアルカリ炭酸塩型の水質における汚染事例については、平成6年に県南地域（南部地方の西側）で行われた砒素による地下水汚染原因究明調査³⁾に示されている。山口らは県南地域において高い砒素濃度を示した井戸の近傍でボーリング及び水質調査を行った結果から、砒素を特異的に多く含有する地質は存在せず、砒素濃度が高い原因は、地質中にごく微量含まれている砒素が、停滞性地下水の還元的な水質の影響によって溶出してきたものとしている⁴⁾。また、島田はふっ素と砒素はどちらも高pH・還元的な水質で溶出しやすく、高濃度を示す傾向があることを指摘している^{9, 10)}。グループIVは、一般に停滞性地下水が示す還元的な水質であるとされており、地下水質がふっ素及び砒素の溶出の要因となっていると考えられる。

もう一方は、グループIIに分類されるアルカリ土類炭酸塩型の水質であった。木村らは、福岡市東区において、砒素の汚染が判明した井戸周辺のボーリング及び地下水調査を行った結果から、高濃度の砒素を含み、かつ高い溶出率を示す滑石片岩の存在に起因して、アルカリ土類炭酸塩型の水質を示しながら、砒素が0.01 mg/Lを超える地下水があることを報告している¹¹⁾。また、同地域の帯水層は三郡変成岩であり、滑石片岩は深成岩の一種である蛇紋岩の地層を取り囲むように存在していることも報告されている

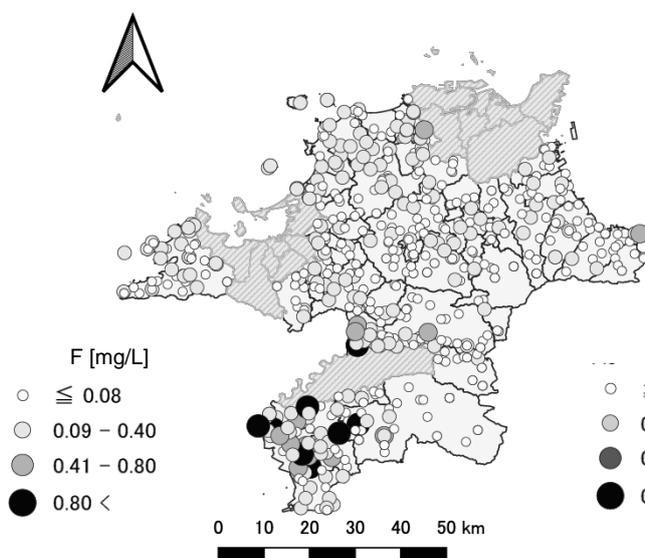


図 2-1 ふっ素

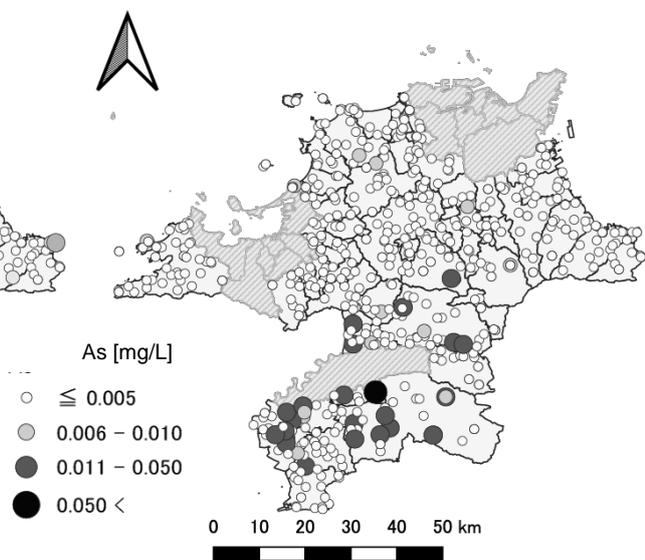


図 2-2 砒素

図 2 県内地下水の濃度分布

10). 砒素が基準を超過して検出されたグループIの事例は、主に県の南部地方の中央から東側に位置している。また、それらの地域及び、砒素が基準値以下で検出された三郡山地北部の山麓の表層地質は変成岩又は深成岩であり⁸⁾、帯水層に三郡変成岩や、蛇紋岩及び滑石片岩の地層が存在し、特徴的な地質が地下水質に影響している可能性が考えられる。

4 まとめ

トリリニアダイアグラムとGISを用いて、県内地下水のふっ素及び砒素の存在状況を比較することで、ふっ素が0.08~0.80 mg/Lの濃度で検出される地下水は県内の広域に存在していること、砒素は一部地域に局在していることが示された。また、ふっ素又は砒素が環境基準を超過した事例の水質は主に2種類に分類され、ふっ素及び砒素の濃度に影響を与える自然的要因として、水質や特徴的な地質等が関与している可能性が示された。本結果は、地下水質と周辺地質からふっ素又は砒素の検出を推定できる可能性を示しており、今後の汚染事例を考察する際にも有用であると考えられる。

文献

1) 地下水測定結果-福岡県庁ホームページ([https://www.](https://www.pref.fukuoka.lg.jp/contents/c01-chikasuikekka-html.html)

[pref.fukuoka.lg.jp/contents/c01-chikasuikekka-html.html](https://www.pref.fukuoka.lg.jp/contents/c01-chikasuikekka-html.html))

- 2) 環境省_地下水測定結果(<https://www.env.go.jp/water/chikasui/>)
- 3) 福岡県保健環境研究所：福岡県県南地域の砒素による地下水汚染原因調査報告書，平成7年2月。
- 4) 山口哲司，島田允堯：地下水汚染の対応 —福岡県県南地域地下水汚染原因調査から—，資源処理技術，43，No.1，17-22，1996。
- 5) 上水試験法2011年版，社団法人日本水道協会，2011。
- 6) 環境省自然環境局：鉱泉分析法指針（平成26年改訂），(<https://www.env.go.jp/council/12nature/y123-14/mat04.pdf>)
- 7) 国土交通省_国土数値情報ダウンロードサービス (<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>)
- 8) 産業総合研究所_20万分の1日本シームレス地質図 (<https://gbank.gsj.jp/seamless/index.html?lang=ja&>)
- 9) 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：フッ素，応用地質年報，No30，2011。
- 10) 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，応用地質年報，No29，31-59，2009。
- 11) 木村哲久ら：福岡市東部ヒ素汚染地区における地下水と地質との関係について，福岡市保健環境研究所報，22，79-82，1997。

(英文要旨)

Understanding the presence of fluorine and arsenic in groundwater of Fukuoka Prefecture

**Koichiro HATA, Masaya MATSUKI, Takaoki KOGA, Manabu KASHIWABARA,
Toyokazu KOGA, Shusaku HIRAKAWA, Takashi MIYAWAKI, Nobuhiro SHIMIZU,
Gensei MATSUMOTO, and Yuko ISHIBASHI**

*Fukuoka Institute of Health and Environmental Sciences,
Mukaizano 39, Dazaifu, Fukuoka 818-0135, Japan*

We investigated the presence of fluorine and arsenic in groundwater in Fukuoka Prefecture by combining a trilinear diagrams and Geographic Information System (GIS). We determined that fluorine was widely distributed in the prefecture, and the concentration range was 0.08–0.80 mg/L. Arsenic was localized in the central and southern parts of the prefecture, while most points were below the lower detection limit (0.005 mg/L) in other areas. As a result of the analysis using the trilinear diagram, the groundwater where fluorine or arsenic exceeded the environmental standard value was classified into two types. The use of GIS indicated that there is a relationship between the distribution of fluorine or arsenic and geology.

[Key words ; groundwater, fluorine, arsenic, GIS]