

地学の豆知識

第 10 回

～湧水とは～

難波あゆみ
(神奈川県温泉地学研究所)

■ はじめに

みなさんは「湧水」をご存じでしょうか。「湧水」は「ゆうすい」と読み、「わきみず」と呼ばれることもあります。湧水は動植物の貴重な生息環境として豊かな自然環境を創出するなど、全国各地で地域の自然を象徴する存在となっています。神奈川県内でも各地に湧水が湧出しており、身近な水源ややすらぎの場として親しまれている一方で、災害時の水源としても見直されています。

環境省では全国に多くの形態で存在する清澄な水について、その再発見に努め、広く国民にそれらを紹介し、啓蒙普及を図るとともに、このことを通じ国民の水質保全への認識を深め、併せて優良な水環境を積極的に保護すること等今後の水質保全行政の発展に資することを目的に 1985（昭和 60）年 3 月、全国各地 100 カ所の湧水や河川を「名水百選」として選定しました（環境省、2024）。また、2008（平成 20）年には「平成の名水百選」を選定し、200 選となりました。神奈川県でも合わせて 3 地点の湧水が名水百選に選ばれています（写真 1～3）。

このように湧水は貴重な水資源ですが、近年では開発や都市化などにより湧水を取り巻く環境が変化し、各地で水量減少や枯渇、水質悪化な



写真1 名水百選「秦野市秦野盆地湧水群」の一つである弘法の清水
(2024 年 10 月 24 日撮影)



写真2 名水百選「足柄上郡山北町洒水の滝」(2023 年 9 月 28 日撮影)

どが懸念されています。湧水を後世に残していくためにも、これらの課題に取り組むことが重要です。そこで地学の豆知識第 10 回ではこの「湧水」にフォーカスします。一緒に、湧水の基礎を学んでいきましょう。

■ 湧水とは

湧水とは「地下水が自然状態で地表に流出したもの、もしくは地表水

に流入するもの」と定義されています（環境省、2010）。さらに、動力で揚水（ポンプアップ）した地下水や、温泉水は対象外とするが、人工的に掘削等を行った場合でも、自噴もしくは掘削面から自然に湧出したものは広義の湧水に含まれるものとするされています。このことから、湧水は、普段は目に見えない地下環境にある地下水を実際に目にできる

貴重な場でもあり、いわば「地下水の露頭」です。

また、湧水は湧き出す場所の地形・地質によって主に次の7つに分類されます(図1)。

a) 崖線タイプ: 台地や段丘の縁辺部にあたる崖から湧出。

b) 谷頭タイプ: 山地や丘陵地内にある馬蹄形や凸地形などのいわゆる谷頭部から湧出。

c) 湿地・池タイプ: 地下水が低地で湧出し湿地・池等を形成します。高原で見られることもあります。

d) 扇端タイプ: 扇状地の末端(扇端)付近で地形面と地下水面が交差(湧出と伏流を繰り返す場合もある)、又は被圧地下水(圧力が高くなっている地下水)が自噴(動力等がなくても湧き出ること)することによって湧出。

e) 火山タイプ: 火山山麓でみられ、溶岩流の積層や岩盤の割れ目を通る裂か水又は被圧地下水が自噴することによって湧出。

f) 傾斜丘陵地タイプ: 傾斜丘陵地でみられ、堆積層(砂層と泥層)が互層状態で傾斜又は被圧地下水が自噴することによって湧出。

g) その他: 代表的な例として、鍾乳洞に代表される石灰岩地域でみられる湧水を挙げることができます。

■ 湧水をとりまく問題

水は太陽のエネルギーによって海水や地表面の水が蒸発し、上空で雲となり、やがて雨や雪になって地表面に降り、それが次第に集まり川となって海に至るというように循環しています(図2)(内閣官房水循環政策本部事務局、2023)。この水循環の過程には蒸発・蒸散、凝結、降水・降雪、遮断、浸透、流出などの循環プロセスがあります。このプロセスにあって湧水を含む地下水は、降水と地表水(河川水、湖沼水)をつな



写真3 平成の名水百選「南足柄市清左衛門地獄池」(2023年4月20日撮影)

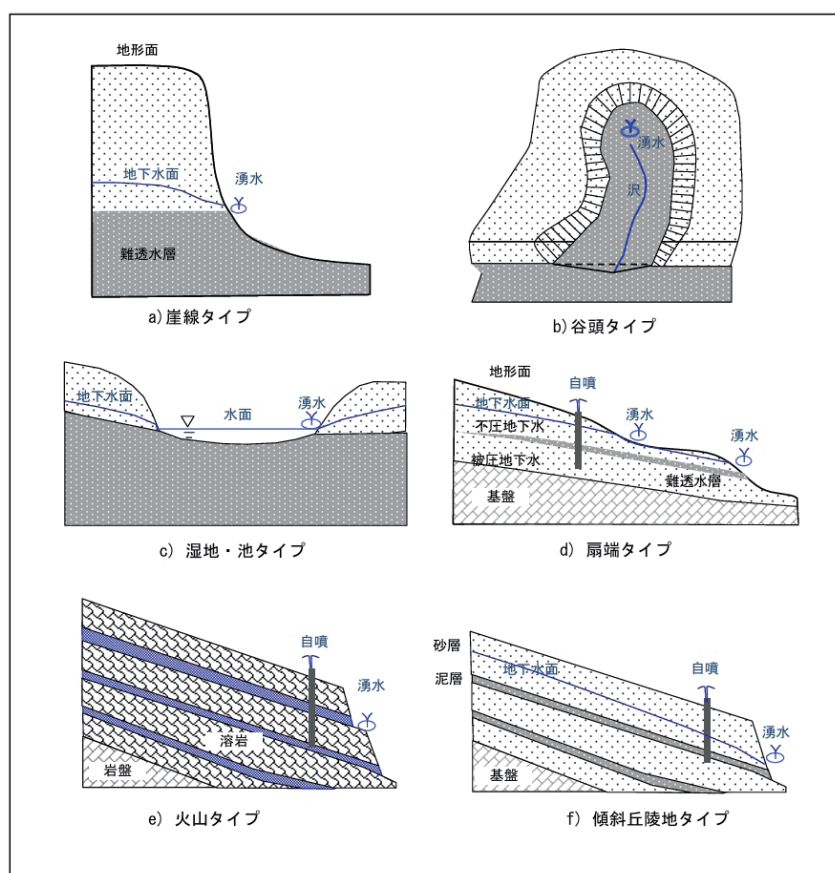


図1 代表的な湧水のタイプ 環境省湧水保全・復活ガイドラインより引用

ぐ重要な要素として位置付けることができます。

しかし近年では生活の快適性や利便性の追求、産業経済活動の拡大などにより、水質汚濁、河川流量の減少、親水性の低下、湧水の枯渇、生態系の変化など、数多くの問題が生じるなど、各地で水循環の健全性が損なわれています。本県において

も1989(平成元)年に秦野市を代表する湧水である弘法の清水(写真1、秦野市大秦町1-31)において、有機塩素系化合物(VOC)による水質汚染がありました。幸いにもその後、地下水保全条例の施行や汚染対策事業の推進など地元を中心とする関係者の尽力により水質が改善され、2004(平成16)年1月1日に

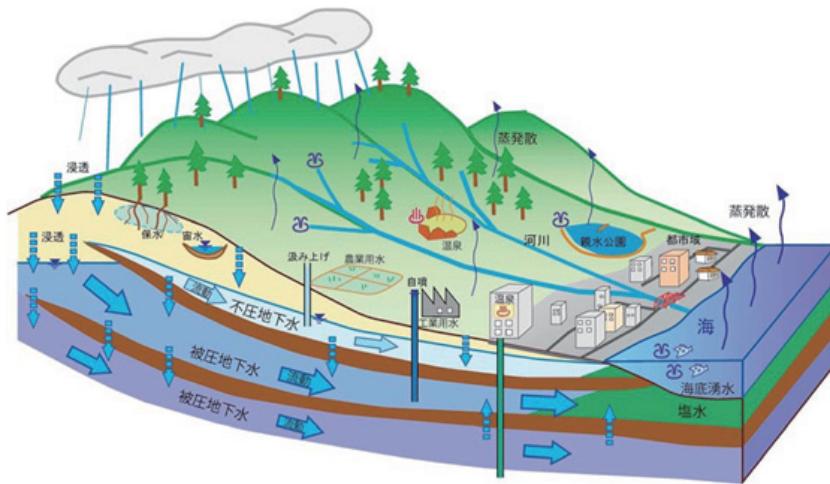


図2 水循環の模式図 環境省湧水保全・復活ガイドラインより引用

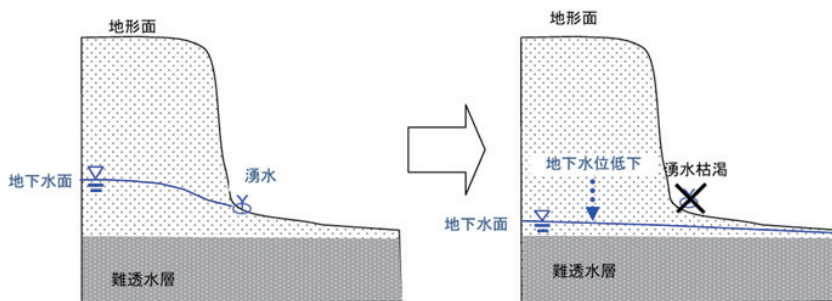


図3 地下水位低下に伴う湧水の枯渇を示す模式図 環境省湧水保全・復活ガイドラインより引用

水質(水に含まれるミネラル成分など)は水が流れてきた「時間」や「場所(地質・地形)」によって変化。

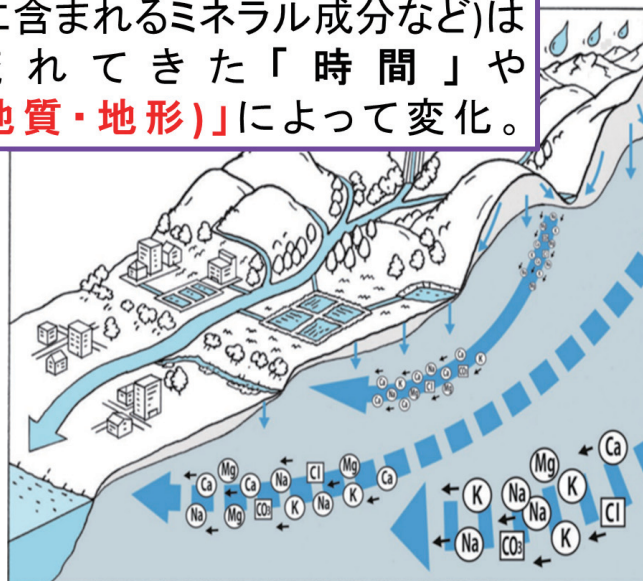


図4 地下水の流れの模式図 内閣官房水循環政策本部事務局 地下水マネジメント推進プラットフォーム 地下水の基礎より引用及び一部加筆

驚きの速さで名水復活が宣言されました。一方で、川崎市では、2003（平成15）および2004（平成16）年度に行った調査結果によって湧水が確認された多摩川水系199箇所、鶴見川水系252箇所について、2012（平成24）および2013（平成25）年度に現況把握を行ったところ、多摩川水系では30箇所、鶴見川水系では32箇所で枯渇等による減少が見られたという調査結果が公表されました。このほとんどが雨水による地下水のかん養が減少していることが要因とのことです。

地下水のかん養が減少すると、地下水面が低下し、地表に湧き出す量が減少します。さらに地下水面の低下が著しい場合は、地下水面が地表面よりも低くなり、湧き出さなくなります（図3）。このような湧水の水質汚染や枯渇等は、秦野市や川崎市のみならず、日本各地でみられていることから、環境省では、湧水の実態把握の方法や保全・復活対策等について、先進的な取組み事例を紹介しつつ、わかりやすくまとめた湧水保全・復活ガイドラインを2010（平成22）年3月に公表しました。

■ 湧水の水質

雨水が地表から浸透し、地下水となり湧水として湧出するまでの間、その水質（水に含まれるミネラル成分など）は長い年月をかけて変化します。湧水の主要成分にはナトリウム（ Na^+ ）、カリウム（ K^+ ）、マグネシウム（ Mg^{2+} ）、カルシウム（ Ca^{2+} ）などの陽イオンと塩化物イオン（ Cl^- ）、重炭酸イオン（ HCO_3^- ）、硝酸イオン（ NO_3^- ）、硫酸イオン（ SO_4^{2-} ）などの陰イオンがあります。また、一部の湧水では鉄やマンガンなどを含んでいるものもみられます。これらの成分は、地下水が長い時間をかけて地中を流動する間に、水と岩石や鉱

物とが接触し、相互作用により取り込まれたものです(図4)。当所ではこれまで湧水調査(西崎ほか、2023)を行っており、湧水の水質は神奈川県内でどれも同じではなく、場所によって水質が異なることが分かっています(図5)。この湧出する場所ごとに水質が異なる要因としては、地下水がかん養してから湧出するまでの「時間」と地下水が流動してきた「場所」(地形・地質など)の違いが考えられます。

まず「時間」についてですが、一般的には、地中の比較的浅い部分を流動して、岩石や鉱物との接触時間が短い地下水には、他の成分と比較

して、カルシウム成分が相対的に多く含まれる傾向があります。一方で、地中の深い部分を長い時間かけて流動して、岩石や鉱物との接触時間が長い地下水には、ナトリウムやカリウムが相対的に多く含まれる傾向があります。

次に「場所(地形・地質)」については、北海道で行った地下水調査結果をもとに農林水産省が公表しているデータによると、例えば地下水中の鉄濃度は、第四紀堆積物のシルト・粘土、新第三紀の堆積岩及び先新第三系では多い傾向を示しますが、一方で、火砕流堆積物及び火山岩類では、比較的少ない傾向です

(図6)。また、黒田ら(2008)は東京都区部における地下水中の鉄濃度が、帯水層(地下水で飽和している地層のこと)ごとに異なるという調査結果を公表しています。地下水中の鉄濃度においてこのような現象が起こる要因として、地層の透水性の違いや有機物の有無、地下水中の溶存酸素濃度(水に溶けている酸素の量)や酸化還元電位(物質が酸化又は還元状態される能力を示す値)の違いなどが挙げられます。さらに地下水が湧き出る地点の地形・地質によっても地下水周辺の環境が異なるため、水質も変化します。例えば神奈川県では、西部に箱根火山や丹沢山地、東部に多摩丘陵や三浦半島、そして相模川の低地とそれに続く平坦な段丘など、地域によって地形が異なり、それを形作る地質も様々です。そのため、一概に湧水の水質を推定するのは難しく、地形・地質(どの帯水層から湧出しているか)などの地理的条件から総合的に判断する必要があります。

■ 水質を表す図について

湧水を含む地下水の水質を考える場合、各成分の濃度を数値により比較するよりも、それらの値を図示した方が分かりやすいことが多いことから、様々な図法が提案されてきました。地下水の水質表示のために用いられる代表的な図法としてトリリニアダイアグラムやヘキサダイアグラム(シュティフダイアグラム)を挙げることができます。ヘキサダイアグラム(図7)は、水中のイオン溶存量を基に図示する方法で、陽イオン($\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Mg^{2+} , K^+)と陰イオン(Cl^- , $\text{NO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$, HCO_3^-)の各イオンのイオン当量(meq/L または me/L)を水平軸にプロットし、各点を結んでできた六角形の形状に水質の特徴を表そうとするものです。イオン溶

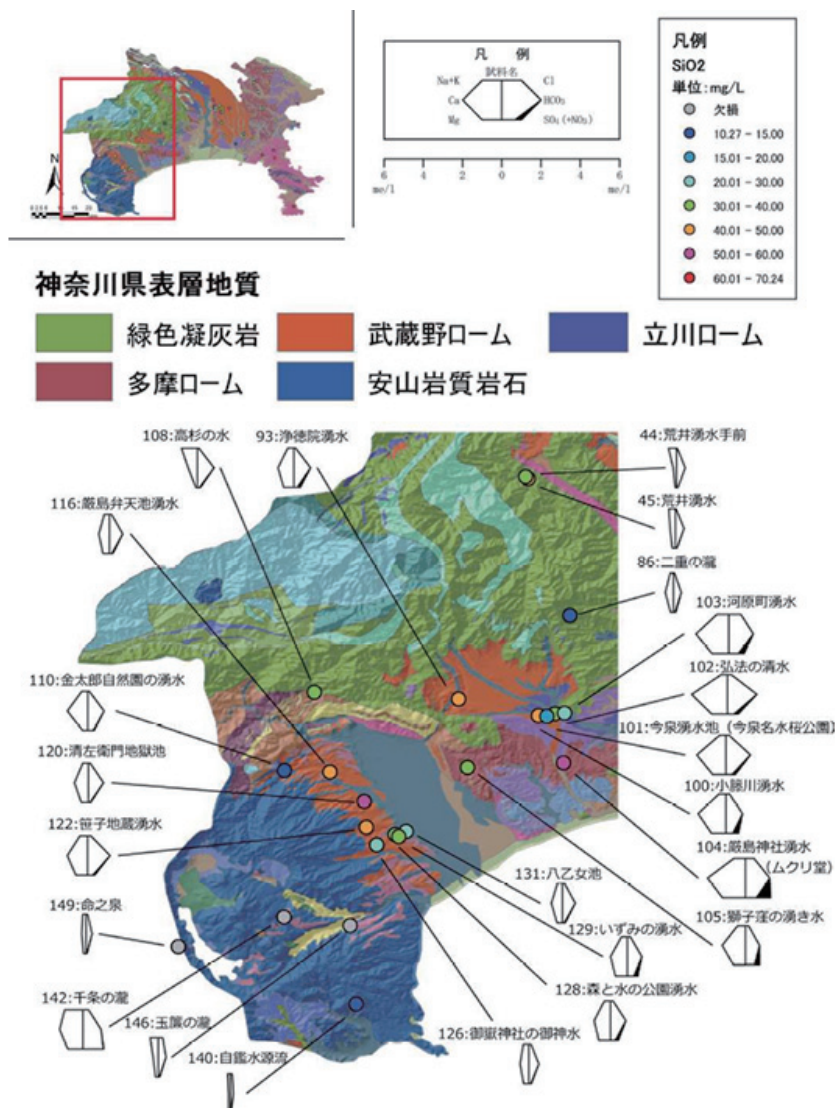


図5 神奈川県西部地域にある湧水のシュティフダイアグラム 西崎ほか(2023)より引用

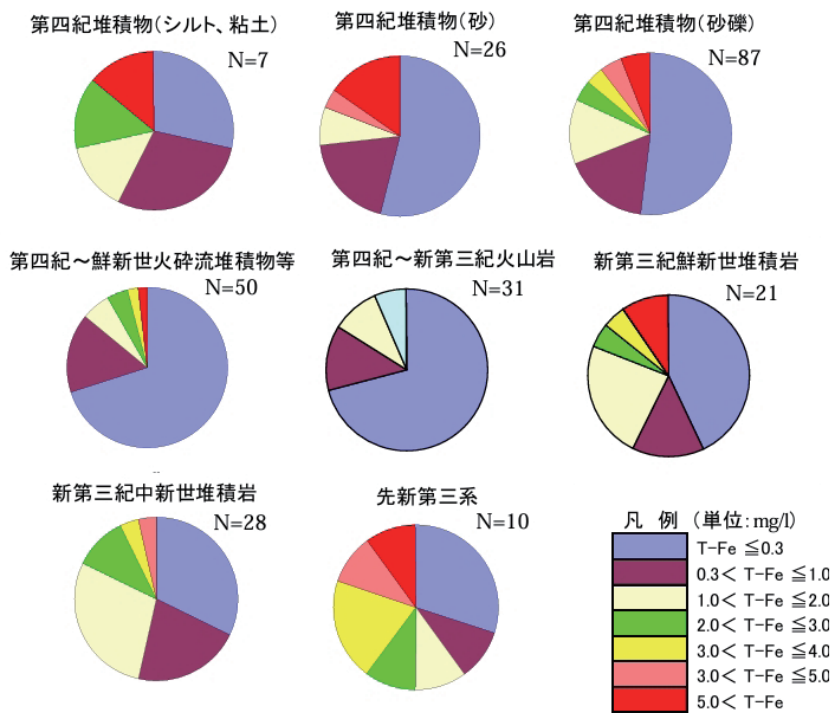


図6 北海道における帯水層地質類型別の地下水中の鉄分頻度割合 農林水産省(2000)地下水中の鉄分と水文地質との関係についてより引用

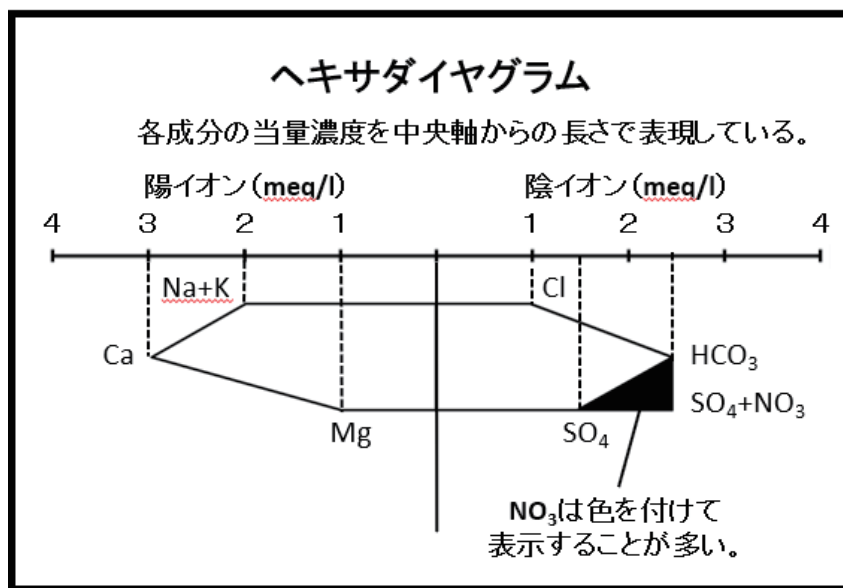


図7 ヘキサダイアグラム

存量が多いとダイアグラムは大きくなり、溶存成分の比率によってダイアグラムの形状が異なるので、形状が類似していれば、同じ水質のグループに属すると考えられます。なお、NO₃⁻は主に汚染にともない付加されることが多いことから、他の成分と区別するために色を付けて表示することが多いです。

続いてトリリニアダイアグラム(図8)をご紹介します。このダイアグラムは、ヘキサダイアグラム同様に水質組成を図示するグラフの一つであり、中央のひし形のキーダイアグラムと左右にある陽イオン・陰イオンの内訳を示す三角図を組み合わせた図です。この図では、水質組成を主要な化学成分濃度の相対的な

割合により図示しており、主要溶存成分の場所による違いや、同一地点での水質組成の時間変化の様子を示すために用いられます。キーダイアグラムはⅠ～Ⅴの領域に区切り、地下水の水質組成がどの領域にプロットされるかによって、特徴の概略を把握することができます。領域Ⅰは重炭酸カルシウム型(地下水起源型)と呼ばれており、普通の淡水がここにプロットされます。日本では最も一般的にみられる水質組成です。領域Ⅱは重炭酸ナトリウム型(停滞地下水起源型)で、被圧水や深層水などが該当します。領域Ⅲは非重炭酸カルシウム型(熱水・化石水起源型)で、鉱山や火山性の水が位置します。領域Ⅳは非重炭酸ナトリウム型(海水起源型)で海水や化石水が該当します。領域Ⅴは中間型で、中間の化学組成をもつ水がプロットされます。したがって、トリリニアダイアグラムを作成することで大まかな湧水の起源の推定に役立ちます。なお、三角図の読み方は板寺(2019)を参照ください。

それではここで領域ⅠからⅣにそれぞれ分類される湧水はどのようなヘキサダイアグラムとなるか見ていきたいと思います。まず、領域Ⅰにプロットされる湧水はカルシウムイオンと重炭酸イオンに富む重炭酸カルシウム型の水質で、ヘキサダイアグラムは亀の甲のような形になります。一方で、領域Ⅱの湧水はナトリウムイオンと重炭酸イオンが突出している重炭酸ナトリウム型で右矢羽根型です。領域Ⅲの湧水は非重炭酸カルシウム型に分類され、領域Ⅰの重炭酸カルシウム型と比べて塩化物イオン、硫酸イオン、硝酸イオンの合計が多いことから、陰イオン側の形状が異なります。海水や一部の温泉は領域Ⅳにプロットされる非重炭酸ナトリウム型に分類され、ナ

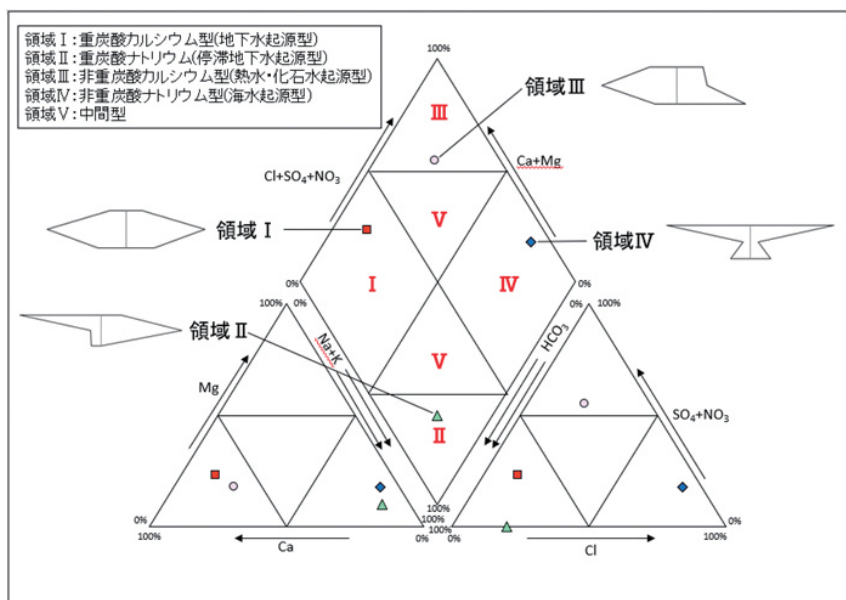


図8 トリリニアダイアグラム

トリウムイオンと塩化物イオンが飛びぬけて多いことから、杯のような形となります。湧水は無色透明が多く、水そのものをみても違いが判断できない場合がほとんどですが、このように各イオンの比率を図形で示すと、湧水の水質の特徴が理解しやすくなることがお分かりいただけたと思います。このようにトリリニアダイアグラムやヘキサダイアグラムは水質を視覚的に捉えられるため、湧水や地下水の分野でよく用いられます。

■ 終わりに

今回の地学の豆知識では湧水について取り上げました。無色透明に見える湧水ですが、湧出の仕方、起源、水質等は様々であることがお分かりいただけたと思います。もしお近くに湧水がありましたら、安全に配慮しながら地形図・地質図を参考にし、湧出形態や起源について考えてみると面白いと思います。

参考文献

- 環境省 (2024) 名水百選ポータル, <https://www.env.go.jp/water/meisui/> (参照: 2025年1月24日)
- 環境省水・大気環境局土壌環境課地下水・地盤環境室 (2010) 湧水保全・復活ガイドライン, 1-125.
- 内閣官房水循環政策本部事務局 (2023) 水循環について, https://www.cas.go.jp/seisaku/mizu_junkan/about/index.html (参照: 2025年1月24日)
- 秦野市 (2024) 秦野名水復活20周年記念誌
- 川崎市 (2016) 湧水地について, <https://www.city.kawasaki.jp/kurashi/category/29-1-5-11-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0.html> (参照: 2025年1月24日)

西崎弘人・宮下雄次・小寺浩二 (2023) 神奈川県における湧水の分布・水質特性に関する地理学的研究、湿地研報告、55、15-34.

内閣官房水循環政策本部事務局 (2023) 地下水マネジメント推進プラットフォーム、地下水の基礎, <https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/gmpp/guide/technologies/fundamentals.html> (参照: 2025年1月24日)

農林水産省 (2000) 地下水中の鉄分と水文地質との関係について、平成20年度資源課関係調査業務成果発表会の概要, http://www.maff.go.jp/j/nousin/noukan/tyotei/t_seika/pdf/11tetu.pdf (参照: 2025年1月24日)

黒田啓介・福士哲雄・小熊久美子・滝沢智 (2008) 日本水文科学会誌、38(2), 63-70.

板寺一洋 (2019) 地学の豆知識 第8回 ～三角形の性質と温泉研究・「三角形のグラフ」の描き方、見方～、観測だより、69、29-32.

日本応用地質学会中国四国支部 (2024) 応用地質 Q & A 中国四国版、環-12 ヘキサダイアグラム, <https://www.jseg.or.jp/chushikoku/wp-jseg/wp-content/uploads/2024/01/3-12.pdf> (参照: 2025年1月24日)