

地下水と身近な水に含まれる炭酸水素イオンの測定

愛知県立明和高等学校

平原諒太郎・小崎律・伊藤亜優美・木下真緒

指導教員：山田哲也 大岩真也

研究概要

私達は、井戸水の中に含まれる物質によって水脈の特定ができることに興味を持った。そこで、水質の指標となるヘキサダイアグラム(注1)を構成する成分のうち、炭酸水素イオンに着目して滴定を行った。炭酸水素イオンに着目した理由は、比較的簡単に滴定が可能であり、地下水質の分類の指標の一つにも含まれるからである。

硫酸を用いた酸塩基滴定の結果、名古屋市内を流れる地下水では、深さ15mの七尾天神社の井戸水に含まれる炭酸水素イオンが47.6mg/L、深さ約20mの清水わくわく水(湧き水)が37.8mg/Lとなった。このことから、深さがほぼ同じでも地下水に含まれる炭酸水素イオン量は違うため、深さとは関係性がなく、この2種の地下水は深さではなく、水脈が異なると考えられる。

また、市販の天然水についても、炭酸水素イオンの含有量をはかり、特に含有量が多かったcontrex、evian、霧島、結、立山(これらは商品名)については、ラベルの栄養成分表示から、カルシウムイオン、マグネシウムイオン、ナトリウムイオンとの関係について考察した。その結果、地下水の停滞性や循環性などの特徴があると考えられることが分かった。

注1: $\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Cl}^- + \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-$ の濃度を六角形のレーダーチャートのような形で示す図

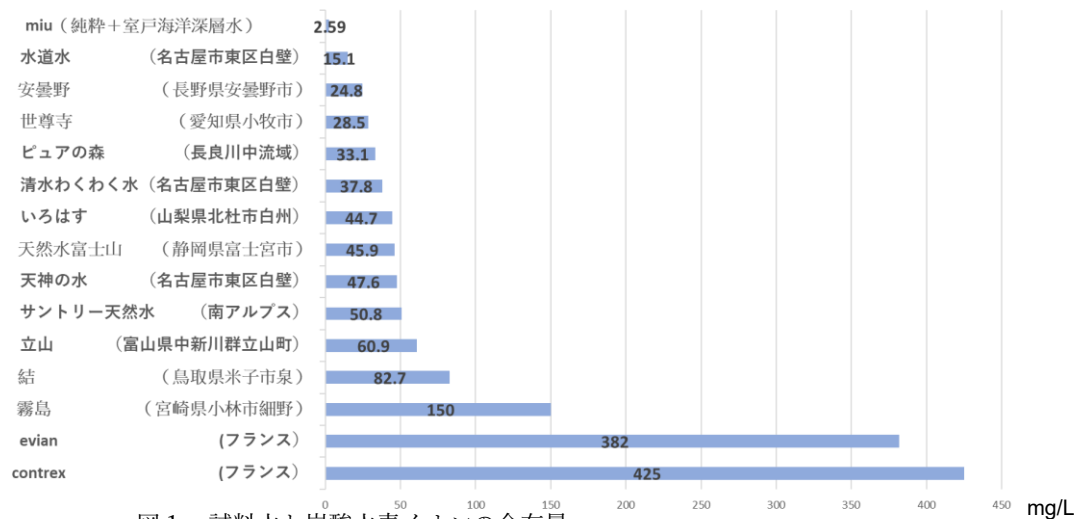


図1 試料水と炭酸水素イオンの含有量

表1 地下水の分類

・カルシウム-重炭酸型	炭酸水素イオンが含まれ、カルシウムが多い。循環性地下水で認められ、日本の地下水ではよく見られる。
・ナトリウム-重炭酸型	炭酸水素イオンが含まれ、ナトリウムが多い。停滞性地下水で認められる。
・ナトリウム-非重炭酸型	炭酸水素イオンがあまり含まれず、ナトリウムが多い。海水が混入した地下水でよく認められる。

※重炭酸イオン=炭酸水素イオン

1. はじめに

学校周辺の水脈を調べるために、近くにある七尾天神社の井戸水に注目したことから、井戸水や湧き水のような地下水、市販されている天然水に興味を持った。

この研究では炭酸水素イオンの量を酸塩基滴定で正確に求め、これを目安として、地下水や天然水を分類し、その水脈、取水地の関係を調べる手がかりを得ることを目的にした。

2. 基礎知識

水中の炭酸物質は、炭酸、炭酸水素イオン、炭酸イオンの3種類がある。これらの炭酸物質は炭酸が水中で電離する時に

$\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$ と $\text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$ の2つの可逆反応が起こること
で、平衡状態となり存在している。そのため、pHの変化で緩衝作用により炭酸物質の存在率が
変化する。炭酸水素イオンの存在率がほぼ0となるのは、pH=4.8のところである。

$$K_{a1} = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} \quad \text{p}K_{a1} = 6.4$$

$$K_{a1} = 4.5 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$$

$$K_{a2} = \frac{[\text{H}^+][\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]} \quad \text{p}K_{a2} = 10.2$$

$$K_{a2} = 4.70 \times 10^{-11} \text{ mol/L} \quad * K_{a1} K_{a2} \text{ は電離定数}$$

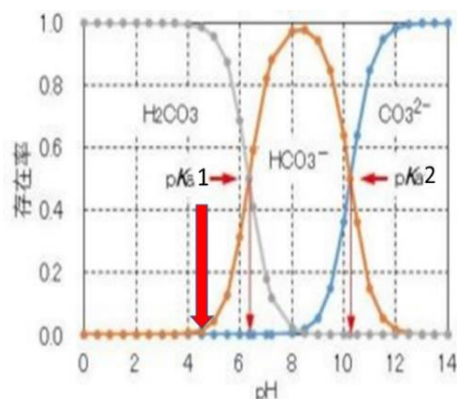


図2 pHと炭酸物質の存在比

3. 炭酸水素イオンの定量

0.0100 mol/L シュウ酸標準液の調整

↓ フェノールフタレインを用いて滴定

約 0.5mol/L 水酸化ナトリウム水溶液の濃度(mol/L)の決定

↓ フェノールフタレインを用いて滴定

約 1mol/L 硫酸の正確な濃度の決定 (正確に 10 倍に薄めた硫酸の滴定)

↓ 硫酸を正確に 100 倍に希釈して、pH センサーを用いて pH=4.8 まで

↓ 滴定する (図3 参照)

試料水中の炭酸水素イオンの滴定

* 滴定に用いた硫酸は、 $1.06 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$ 、 $1.13 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$ であった。

* 試料水中に炭酸水素イオンが多量に含まれる場合は、適宜試料を希釈して滴定した。

* 滴定値から次ページの式①②より、炭酸水素イオンの濃度 (mg/L) を計算する。

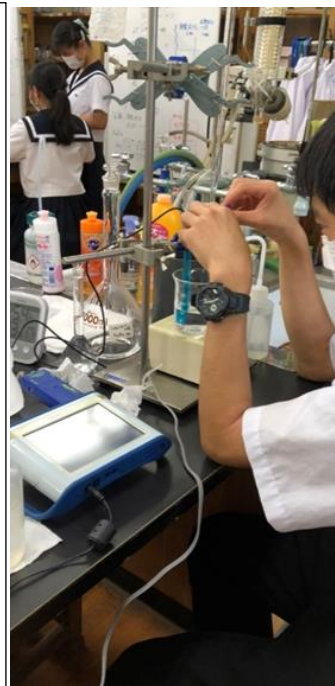
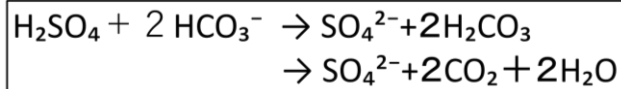


図3 滴定の様子

硫酸を加えると、試料水中では炭酸水素イオンと下記のように反応する。



この反応で炭酸水素イオンが硫酸とすべて反応し、なくなるときの pH が 4.8 となる。

・炭酸水素イオンの濃度 X(mol/L)を求める式

$$2 \times (1.06 \times 10^{-2}) \times \text{硫酸の滴下量 (mL)} = 1 \times X \times 100 \quad \dots \textcircled{1}$$

炭酸水素イオンと硫酸について、価数×濃度×体積が釣り合うことを利用している。

・単位の換算

$$X \text{ (mol/L)} \times \frac{61.0 \text{ (g)}}{1 \text{ (mol)}} \times \frac{1000 \text{ (mg)}}{1 \text{ (g)}} = \text{炭酸水素イオンの mg/L} \quad \dots \textcircled{2}$$

4. 結果

表2 水の名前と各種値

水の名前	測定回数	硫酸の滴下量(mL)	HCO ₃ ⁻ の量(mg/L)	標準誤差	備考
miu	5	0.18	2.48	±0.0400	粗製海水塩化マグネシウム(注2)
水道水	10	1.17	15.1	±0	
安曇野	10	1.92	24.8	±0.00337	軟水
世尊寺	9	2.20	28.5	±0.0121	*生徒が取水
ピュアの森	10	2.56	33.1	±0.00927	軟水
清水わくわく水	8	2.93	37.8	±0.0602	*生徒が取水 水脈の深さ地下20m
いろはす	10	3.46	44.7	±0.003	
天然水富士山	10	3.55	45.9	±0.0114	
天神の水	10	3.68	47.6	±0.0170	*生徒が取水 水脈の深さ地下15m
サントリー天然水	5	3.93	50.8	±0.0475	
立山	4	4.42	60.9	±0.0632	
結	5	6.00	82.7	±0.0623	
霧島	9	11.58	150.0	±0.0648	水脈の深さ地下120m
evian	10	27.70	382.0	±0.0781	
contrex	10	30.28	425.0	±0.397	

注2：海水から塩化ナトリウムを除いた物質

5. 考察

(1) 天神の水と清水わくわく水について

同じ名古屋市東区内で取水した天神の水と清水わくわく水では、炭酸水素イオンの量が天神の水 47.6mg、清水わくわく水 37.8mg と約 10mg の差があるが、水脈の深さは 5m しか変わらない。このことから、炭酸水素イオンの含有量の変化には、水脈の深さよりも地質の影響が大きく、天神の水と清水わくわく水では水脈が異なっていると考えられる。

(2) 炭酸水素イオンに対する陽イオン量について

市販の天然水について、イオン量の比の値を求め考察を行った。

$$\begin{aligned} &\langle \text{陽イオンの量と炭酸水素イオンの量の比の値を求める式} \rangle \\ &\text{比の値} = \text{炭酸水素イオンの値} \div \text{栄養成分表示の陽イオンの値} \end{aligned}$$

表3 市販の天然水の比の値

水の名前	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	比の値		
		Na	Ca	Mg
miu	2.48	62.0	0.414	0.131
安曇野	24.8	3.59	2.07	2.25
ピュアの森	33.1	9.73	3.89	22.0
いろはす	44.7	4.07	6.21	19.4
立山	60.9	5.08	8.70	30.5
結	82.7	6.56	9.19	13.6
霧島	150	5.76	4.99	8.81
evian	382	54.6	4.77	14.7
contrex	425		0.908	5.70

表4 炭酸水素イオンの量が多い水の各陽イオンの値と型の分類

	Na(mg/L)	Ca(mg/L)	Mg(mg/L)	水の型
立山	12	7	2	ナトリウム重炭酸型
結	12.6	9	6.1	ナトリウム重炭酸型
霧島	26	30	17	カルシウム重炭酸型
evian	7	80	26	カルシウム重炭酸型
contrex	不明	468	74.5	カルシウム重炭酸型

表3より、各陽イオンの比の値にはばらつきが見られるため、各陽イオンの量と炭酸水素イオンの量にあまり関係性は見られない。ただし、軟水の安曇野とピュアの森、contrex、地下水ではないmiuを除いた水で、カルシウムイオンの比の値を見ると、比の値の差が4程度であり、ナトリウムイオンやマグネシウムイオンに比べてカルシウムイオンの方が炭酸水素イオンとの関係が深いとみられる。

(3)水の型について

ラベルの栄養成分表示と表4のカルシウムイオン量(mg/L)の値をもとに、環境科学調査センターの基準(表1参照)に分類すると、contrex、evian、霧島はカルシウム重炭酸型で循環性があり、結、立山はナトリウム重炭酸型で停滞性があると考えられる。

また、miuについては、表2より炭酸水素イオンがほとんど含まれない。このことから、海水が混入する地下水で、表1にあるナトリウム非重炭酸型に相当するのではないかと考えられる。

6. 展望

- ・採取した天然水について、キレート滴定を利用し、陽イオンの正確な値を求め、水の型を決定したい。
- ・名古屋市環境科学調査センターの測定結果と本校の滴定結果とを合わせて、学校周辺の地層をもとに水脈のつながりなどを調べる。

〈参考資料〉

- ・和歌山大学 水土環境実験実習 I (配布資料)
- ・「地理情報システムを利用したヒ素による地下水汚染の実態解析とその起源推定」、山守英朋、他(環境科学調査センター)
- ・「原子力バックエンド研究、日本列島の非火山地域における深層地下水水質と地質との関係について」、尾山洋一、他
- ・毎日新聞 2008年3月20日(金) 朝刊
- ・「水浄化フォーラム 一科学と技術一」(図2)

〈謝辞〉

地層により地下水の水脈が異なること、炭酸水素イオンに注目することを教示していただいた名古屋市環境科学調査センター研究員の森健次さんに感謝申し上げます。