

自然教育園における地下水の水質調査

碓 実咲^{1,*}・楊 宗興²

¹東京農工大学大学院農学部 農学専攻物質循環環境科学プログラム, ²東京農工大学大学院農学研究院

Misaki Ikari¹, Muneoki Yoh²: Groundwater Quality Survey in the Institute for Nature Study. Miscellaneous Reports of the Institute for Nature Study (54): 47-49, 2022.

¹ Tokyo University of Agriculture and Technology, Graduate School of Agriculture, Department of Agriculture, Department of Environmental Science on Biosphere, ² Tokyo University of Agriculture and Technology, Institute of Agriculture

はじめに

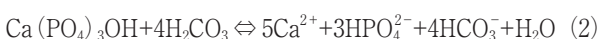
リンは一次生産に不可欠な栄養塩であり、生物生産の制限要因のひとつとなる。地下水を経由したリン輸送は、最終的な流出域である河口や海域などの沿岸生態系に影響を及ぼす可能性が高い。このため、地下水におけるリンの挙動の解明は陸水学や生態学などの分野において重要な課題のひとつである (齋藤, 2015)。

リンは地下水中では溶存状態で存在しており、その分布は多様である。溶存形態はほとんどが無機態リン (DIP) であるが、場所によっては溶存有機態リンもみられる。リンは主に DIP として輸送・拡散・移流され、酸化還元状態や pH 及び塩分の変化にともない生じる吸脱着及び沈殿により、水中から除去あるいは水中に付加されることが特徴である (齋藤, 2015)。酸化的条件下では鉄酸化物への吸着や、Ca・Al・Fe との共沈により水中から除去される傾向にある。一方、還元的条件下では鉄酸化物の還元に伴う脱着により水中に放出されるが、共沈によるヒドロキシアパタイト及びビビアナイト (Fe₃(PO₄)₂・8H₂O) の形成も生じる (齋藤, 2015)。

一次鉱物は化学的風化作用を受けてリン酸態リン (以下、リン酸と称す) を放出する。化学的風化作用は一般に以下の式 (1) で表される。



例えば、リン酸が含まれている次の一次鉱物の場合、式 (2) のようにリン酸が溶解する。



また、以下の表 1 のように地殻には多くの元素が含ま

れているが (野津, 1985)、これらは化学的風化作用を受けて溶存成分として地下水中に溶出する。これらの成分は風化作用の指標になる。

これまでの研究で、非常に高濃度のリン酸態リン 15mg/L が東京都の深層地下水で検出されたが (磯貝, 2015)、リン酸が供給される要因およびその水質の形成機構はわかっていない。修士研究では東京の地下水に存在する高濃度なリン酸の分布とそれが形成された要因お

表 1. 地球の化学組成 (野津, 1985)。

Element	Mason (1966)	Ringwood (1966)	Morgan and Anders (1980)
Fe	34.63	30.83	32.07
O	29.53	30.07	30.12
Si	15.20	17.42	15.12
Mg	12.70	15.85	13.90
Ni	2.93	1.66	1.82
S	1.93	—	2.92
Ca	1.13	1.84	1.54
Al	1.09	1.42	1.41
Na	0.57	0.91	0.13
Cr	0.26	—	0.41
Mn	0.22	—	0.08
Co	0.13	—	0.08
P	0.10	—	0.19
K	0.07	—	0.01
Ti	0.05	—	0.08

よびメカニズムを明らかにすることを目的とした研究を行い、その中の一つとして自然教育園の地下水を調査したため、その結果について報告する。

材料と方法

地下水は2021年4月に自然教育園の正門から少し進んだところにある、路傍植物園の入り口付近の井戸から採取した。井戸の深度は約65mである。現地ではDO(溶存酸素)、EC(電気伝導度)、水温、pHを測定した。試料を500mLポリエチレン瓶に入れて実験室に持ち帰り、Whatman GF/Fフィルターを用いてろ過を行った。GF/Fフィルターはあらかじめ450℃で4時間燃焼して有機物を除去したものを使用した。ろ過後はリン酸、鉄測定用試料は冷蔵保存、その他測定用試料は冷凍保存した。

Fe²⁺測定用試料はGF/Fフィルター(公称孔径0.7μm)と孔径0.45μmのメンブレンフィルター(ADVANTEC DISMIC-25CS)を用いてろ過後、真空バイアル瓶に現地で採取した。実験室に持ち帰った試料は、GF/Fフィルターを用いて濾過した後、冷蔵保存した。各測定項目の測定方法は表2に示す。

結果と考察

現地での測定結果(DO, EC, 水温, pH)を表3に示す。実験室での測定結果(リン酸態リン, 二価鉄, 重炭酸イオン, 溶存有機態炭素, 主要イオン)を表4に示す。

リン酸態リン(DIP)濃度は34μmol/Lであった。これは都内17か所での0-45μmol/Lの結果の中で比較的高い。また、これまでに高濃度の例として報告されてい

表2. 測定項目・方法.

測定項目	測定方法
リン酸態リン (PO ₄ ³⁻)	モリブデンブルー法
二価鉄 (Fe ²⁺)	1,10-フェナントロリン法
アルカリ度 (HCO ₃ ⁻)	pH4.8 硫酸滴定
主要イオン (Na ⁺ , NH ₄ ⁺ , K ⁺ , Mg ²⁺ , Ca ²⁺ , F ⁻ , Cl ⁻ , NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻)	イオンクロマトグラフィー
溶存有機態炭素 (DOC)	燃焼触媒酸化法

表3. 現地での測定結果.

DO (溶存酸素) (%)	19
DO (mg/L)	1.83
EC (電気伝導度) (mS/m)	38.7
水温 (°C)	18
pH	8.2

表4. 各測定項目の結果.

測定項目	濃度	測定項目	濃度	測定項目	濃度
リン酸態リン	34 μmol/L	F ⁻	0.0 μmol/L	Na ⁺	2200 μmol/L
二価鉄	0.39 mg/L	Cl ⁻	610 μmol/L	NH ₄ ⁺	150 μmol/L
重炭酸イオン	4.6 meq/L	NO ₂ ⁻	0.0 μmol/L	K ⁺	65 μmol/L
溶存有機態炭素	3.95 mg/L	NO ₃ ⁻	6.1 μmol/L	Mg ²⁺	24 μmol/L
		SO ₄ ²⁻	0.0 μmol/L	Ca ²⁺	23 μmol/L

る，富士山南部の $9\mu\text{mol/L}$ （神谷ら，2017）よりも高い濃度であった。

SO_4^{2-} 濃度が $0.0\mu\text{mol/L}$ であった。このことから硫酸還元が生じていたと判断される。還元環境下では，鉄酸化物の脱着によりリン酸が溶出する（齋藤，2015）ため，鉄酸化物からの脱着が高濃度なリン酸をもたらした要因の一つと考えられる。しかし，二価鉄の濃度は 0.39mg/L と低かった。これは，硫酸還元によって生成された硫化物イオンと鉄イオンが結合した結果，硫化鉄として沈殿したためと考えられる。

重炭酸イオンは 4.6meq/L と比較的高い値を示した。陰イオンは Cl^- が高く，陽イオンは Na^+ が高かった。このことは陽イオン交換反応と風化の進行，海水の影響が考えられる。

DOC の濃度は 4.0mg/L だった。そのため，有機物の分解によってリン酸態リンが供給された可能性がある。

採取した地下水の写真を図1に示す。淡黄色をしていたことから，黒湯であると判断される。黒湯は地層中に堆積した植物などの有機物が分解して炭酸を発生し，これが Na^+ ， Ca^{2+} を溶出することで Na^+ ， Ca^{2+} ， HCO_3^+ を

生成しながら，残った有機物から腐植質が作られ堆積してできたものである（前田，2011）。氷期～間氷期が交互に訪れ，顕著な海面上昇と海面低下が起こった更新世の時代に，植物が地層中に閉じ込められ，長時間地下に貯留され，有機物が分解されて地下水中のリン酸が高濃度になったと考えられる。

また，岩石の風化の指標となるアルカリ度， Na^+ が高いため，化学的風化によってリン酸が供給されたと考えられる。

謝 辞

本研究を進めるにあたり，国立科学博物館附属自然教育園の遠藤拓洋氏のご協力をいただき，採取日には遠藤拓洋氏と大澤陽一郎氏に付き添っていただいた。お世話になった皆様に感謝の意を表する。

引用文献

- 磯貝早耶. 2015, 合成甘味料分析による都市深層の地下水由来地下水汚染の実態把握.
- 神谷貴文・渡邊雅之・村中康秀・申基澈・中野孝教. 2017, 富士山南部における地下水の水質成分の地理的特徴とその起源, 地学雑誌, 126 卷 1 号, 43-71.
- 齋藤光代・小野寺真一. 2015, 沿岸地下水流出域におけるリン動態, 地球環境, Vol.20, No.1, 55-62.
- 野津憲治. 1985, 地殻・マントルの地球化学, 地球化学, 19, 71-84.
- 前田眞治・市川 勝・原麻理子・櫻井好美・平野絵美・小暮英輔・山本 潤. 2011, 東京都 23 区内の温泉と期待される温泉医学的效果, 日温気物医誌, 74 (4).

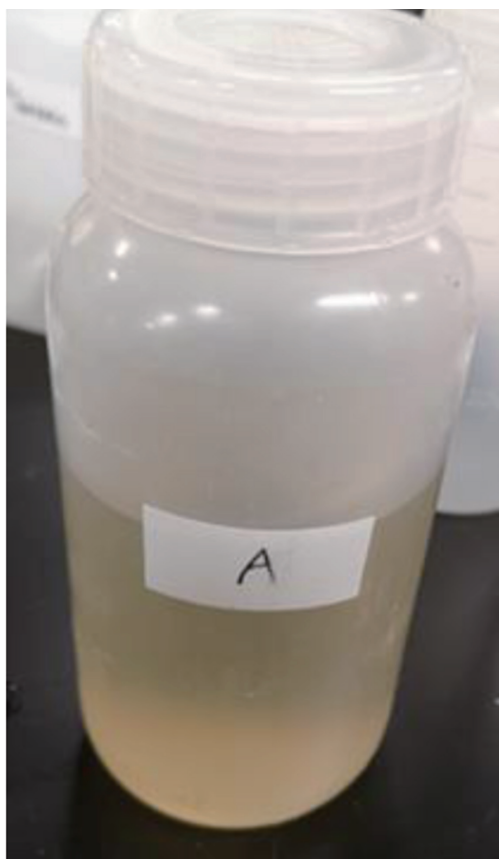


図1. 採取した地下水.

