

不明湧出水の判定事例

佐藤 修

1. はじめに

都市部における土木工事やビルの地下室などでは、種々の湧出水が生じ、その原因調査を依頼されることがある。また山間部でも工事により地下水や伏流水の水脈を切断したりして湧出水が多量に発生し、下流の井戸水に影響を及ぼすこともある。

湧出水は地下水、雨水、上水、下水、池の水などのさまざまな原因で発生する。その原因の判定を求められても多様な要因のため現場の現況観察では判断に苦慮することも多い。また現地にまで足を運べることはまれで、ほとんどが持ち込まれた水質のみで判定を依頼される。水質からその原因を解明することはよく行われているが、はっきりと指針となるものは存在しないようである。言うまでもなく水には数多くの溶存物質や懸濁物質が含有しているが、その中から現場の状況に合致した最小限の項目を選定すべきである。例えば、湧出水が外観上清澄な場合、今回我々が行った方法が妥当かもしれないし、臭気を発し汚染が認められるような場合、無機イオン類の検査は省略し生活環境項目や細菌試験が有力となり得よう。また土壤中での流出では土中水の影響も無視できないと考える。しかし上水から流出した湧出水に残留塩素が検出されると言ったような明確な判定材料がひとつでもあれば繁雑な過程は省略される。従ってその水質のポイントを直観的に見出すことも必要とされる。水質のみならず地質、水位、流出量とその経時変化、工事に伴う環境変化などの多方面からのアプローチが、判定をより確実なものにするであろう。

最近我々に依頼された 2 つの不明湧出水に関して、主要無機イオンの分析と、その解析のため、キーダイヤグラム、ヘキサダイヤグラムを用いて行った判定事例をここに報告する。(※編集注：下線 編集加筆)

2. 事 例 1

2. 1 概 要

現場は都心のビル密集地。建物は古く老朽化が進んでいて、蛇口での赤水は日常発生している。建築当時の図面がなく、地下の水道管などの設置場所は不明である。GL 約 4 m にある地下室のコンクリート床に穴を掘るため壊したところ、毎分 2 ~ 4 l の水が湧出して来

たとのことである。湧出量はほとんど変化せず、ポンプで廃棄している。そこでの地下水の水位は確認できなかった。水の外観は無色透明で、一見して水道管からの漏水とみられた。現状のまま放置しておくこともできず、まずその原因調査を依頼された。

2. 2 結果および判定

現場近くの蛇口から採取した水道水と湧出水の水質分析値を表 1 に示す。分析はすべて上水試験方法（1978 年版、日本水道協会）により行った。残留塩素は現場で測定した。HCO₃⁻ はM-アルカリ度から算出した。大腸菌はメンブランフィルターによる方法を採用した。

表 1 事例 1 の水質分析値

	水 道 水	湧 出 水
pH 値 (-)	7.0	6.9
電気伝導率 (μ S/cm)	289	615
残留塩素 (mg/l)	1.5	不検出
Na ⁺ (")	17.8	27.5
K ⁺ (")	3.4	6.7
Ca ²⁺ (")	20.6	69.8
Mg ²⁺ (")	5.2	7.0
Cl ⁻ (")	30.9	45.0
SO ₄ ²⁻ (")	43.6	83.0
HCO ₃ ⁻ (")	31.3	144
大腸菌群 (50ml)	0	46
一般細菌 (1ml)	0	835

この結果に基づいて、キーダイヤグラム、ヘキサダイヤグラムにより水質の把握を行った。図 1、図 2 にそれぞれの図を示す。

キーダイヤグラムは、水質が陰イオンとして (Cl⁻ + SO₄²⁻)・(HCO₃⁻ + CO₃²⁻)、陽イオンとして (Na⁺ + K⁺)・(Ca²⁺ + Mg²⁺) の 4 成分系で平衡状態になっているものとして表示する。これは主として、イオンの成分比を表現する。ヘキサダイヤグラムは、縦軸の左右に meq 濃度の軸に陰、陽イオンごとに 3 成分系をプロットしたものである。これはイオンの成分量と組成を同時に表わす。これらの表示法に基づき考察を加えていく。

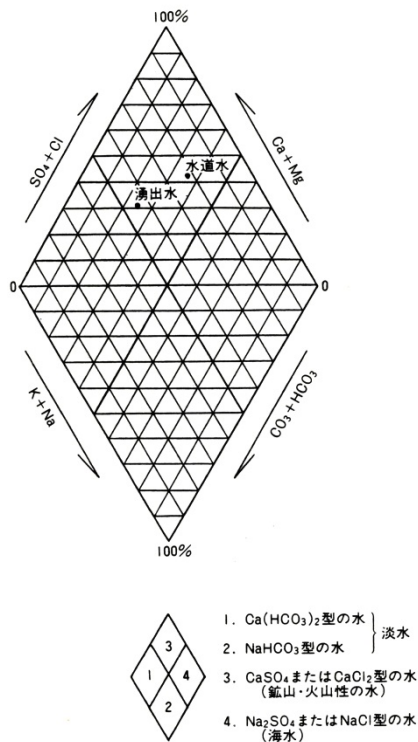


図1 事例1の水質キーダイヤグラム

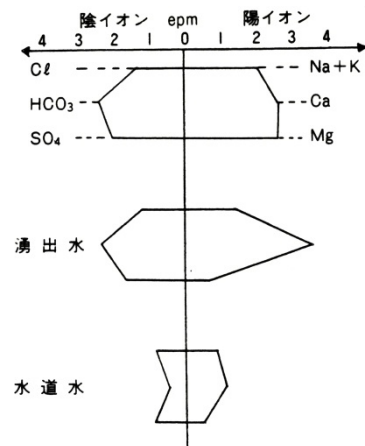


図2 事例1のヘキサダイヤグラム

湧出水は電気伝導率で水道水の約2倍あり、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 HCO_3^- 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} に顕著な差がみられる。その中で特に HCO_3^- と Ca^{2+} が際立って多い。この傾向は $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 型の浅層地下水によくみられる。これはまたヘキサダイヤグラムで明示される。キーダイヤグラムでは両水質ともに3型に属してはいるが、湧出水は淡水地下水の1型に近い。また細菌類では湧出水に大腸菌、一般細菌が存在し汚染が認められる。一般的な土壌では水道管からの流出で、これほど細菌類が増加することは想像しがたい。さらに、水道水が土壌と反応して $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ の大幅な上昇をもたらすことも理解しにくい。

以上より、この湧出水は水道水の漏水ではなく、地下水もしくは濃縮された冷却水などが原因と推定された。下水ではないかとの見方もあるが、これも $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ の量を踏まえると可能性は薄い。

3. 事 例 2

3. 1 概 要

地下で下水管築造に伴って管路天井部からの湧出水に悩まされ、コンクリート工事ができず、工事中断の事態となり原因調査を依頼された。工事現場の概略図を図 3 に示す。図からわかるように管路上部には水道管が通っている。問題となっているのは A 湧水で、約 2m に渡って湧出している。湧出量は測定困難であったが毎分 10ℓ～30ℓ程度とみられる。また図のごとく、他に B, C の湧出水があったが、これらの量はさほど多くなくにじみ出る程度であった。現場一帯の地質は関東ローム層から成り立っている。また現場から約 150m の所に池があるが、流出状況とその距離を鑑みて直接原因となっていることは考えにくく、調査から省略した。

3. 2 結果および判定

水質分析結果を表 2、キーダイヤグラムを図 4、ヘキサダイヤグラムを図 5 に示す。湧出水 A は A-1 と A-2 とで、A-2 は 1 週間後に採水した。水道水は現場に最も近い蛇口より A-1 と同時刻に採水した。また A-2 採水時の水道水は分析しなかったが、若干の水質変化が生じていると思われる。

表 2 事例 2 の水質分析値

	水道水	湧出水 A-1	湧出水 A-2	湧出水 B	湧出水 C	水道水の 土壤ろ過水
pH 値 (-)	7.3	7.1	7.5	7.0	8.0	7.2
電気伝導率 (μ S/cm)	219	251	247	469	445	222
残留塩素 (mg/l)	0.25	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出
Na ⁺ (")	11.3	15.0	14.2	27.6	40.0	15.1
K ⁺ (")	3.3	8.0	7.6	11.6	15.4	7.2
Ca ²⁺ (")	19.6	21.8	23.1	35.1	26.1	11.6
Mg ²⁺ (")	5.0	3.2	3.4	16.1	7.3	6.1
Cl ⁻ (")	19.8	19.8	17.3	30.2	17.3	21.3
SO ₄ ²⁻ (")	27.0	32.0	35.0	46.2	36.5	32.3
HCO ₃ ⁻ (")	46.4	54.7	51.9	139	176	34.8
NO ₃ -N (")	0.19	0.27	—	—	—	—
NH ₄ -N (")	不検出	不検出	—	—	—	—
大腸菌群 (50ml)	0	0	—	—	—	0
一般細菌 (1ml)	0	27	—	—	—	2

図3 事例2の概略図

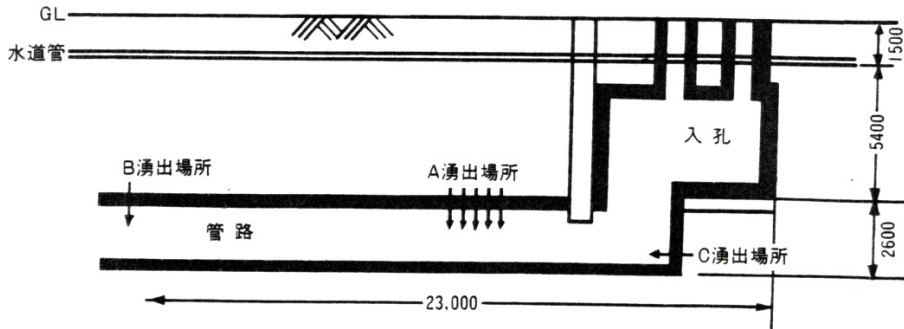


図4 事例2の水質キーダイヤグラム

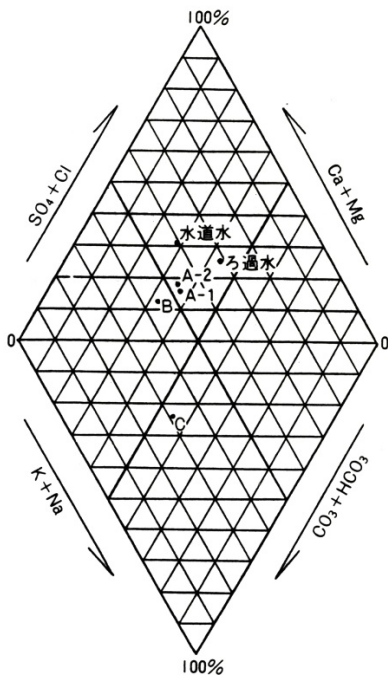
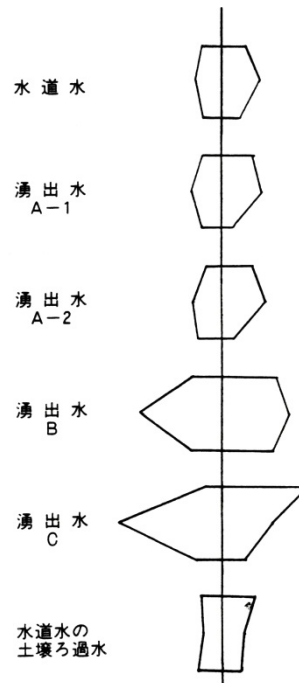


図5 事例2のヘキサダイヤグラム



この判定方法も事例1のように主要溶存イオンの解析によった。

湧出水 A-1 と A-2 とでは pH 値に 0.4 の差があるもののほぼ一定の水質で流出しているものと判断される。Na⁺、K⁺、HCO₃⁻の含有量が水道水より多いが、水道水と湧出水 A は数値がかなり似通っている。キーダイヤグラムでも湧出水 A の方が陽イオンで Na⁺+K⁺、陰イオンで CO₃²⁻+HCO₃⁻の含有量の比率が高いが、両者とも 1 型に属している。ヘキサダイヤグラムからもほぼ同一の形状を示す。残留塩素は 2 回の測定とも検出はされなかった。以上のことから、水道水と湧出水 A とは同質の水質と判断された。一方湧出水 B は 1 型の Ca(HCO₃)₂ タイプであって、ごく一般的な浅層地下水の水質を呈している。湧出水 C は 2 型の NaHCO₃ タイプで、被圧された深層地下水に多くみられるものである。

ヘキサダイアグラムからもこの2つの湧出水Aとは大きさと型状が全く異なっている。

地下の状態によってはその流出路で地下水やその他の水が混入したり、土壌、岩石、構造物などとの察知できない化学変化が生じる可能性がある。そこで我々の知見できる範囲でのひとつの試みとして、現場の土壌をカラムにつめ、水道水でろ過実験を行った。実験は図6に図示する。ろ過速度は5.2ml/分程度とし、800ml通水した。ろ過水の水質は表2に示す。これによると、残留塩素は不検出で、僅かな接触時間でも消費されることが示されている。陽イオンではCa²⁺が減少し、Na⁺とK⁺が増加している。これはNa質の粘土の塩基交換にみられるような軟水化傾向を表わす。次のように示される。

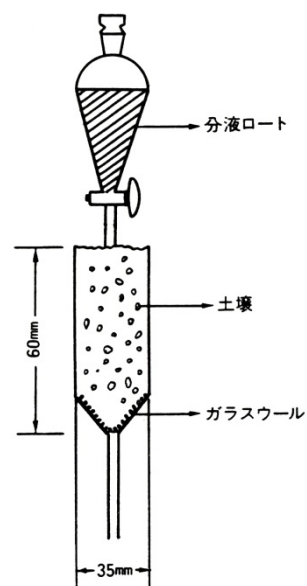
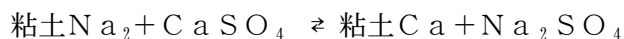
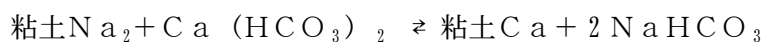


図6 土壌ろ過実験の概略図



陰イオンではHCO₃⁻が減少し、SO₄²⁻が増加している。湧出水Aが水道水の漏水であると仮定して、水道水に対する湧出水Aの変化傾向とこの実験との相異は、湧出水AではCa²⁺とHCO₃⁻が増加したのに対して実験では逆になった。(ただし湧出水AでNa⁺とK⁺もCa²⁺以上に増加しているので、キーダイアグラムに関する限り実験とほぼ同様な変化を示した。)この原因として次のようなことが考えられる。HCO₃⁻とCa²⁺の増加は空気中の炭酸ガスが水に溶解し、岩石などと反応した結果重炭酸カルシウムとして増加する。地下の土壌中の空気には大気の10~100倍もの炭酸ガスを含有しているため、土壌中ではこの反応が起きやすいが、実験ではなかったとみられる。(当然接触時間にも関係する。)以上のことを念頭に置いて判定すると、湧出水Aは水道水からの漏水であり、B、Cは全く異なる地下水とされた。後に湧出水Aは流出箇所の上で亀裂が生じて湧出したものと判明した。

この事例は、水道水がすぐ下の素掘りの管路に直線的に漏水して生じ、複雑な反応過程を伴わなかったとみられ、判定にはきわめて幸運な事例と思われる。

4. ま と め

原因不明の湧出水を判定する場合、主要溶存イオンの水質分析値を解析して行う方法を示した。地下水などの種別に用いられるキーダイアグラム、ヘキサダイアグラムを使用して解析した。判定の経過を略述する。

- 1) 湧出水の状況、外観を見て、その水に適した水質分析項目を選択する。
- 2) 水質分析結果から、その要因と特徴を把握する。
- 3) キーダイヤグラム、ヘキサダイヤグラムにより溶存イオンの比率や成分量から、同一、相異部分に着目して判定する。
- 4) 流出水の接触物（土壌など）が採取できるなら、原因と想定される水で通水実験を試み、変化を確認してみる。

以上のような過程で 2 例を報告したが、実際は多種多様で複雑な状況があって簡単に処理されることは例外かもしれない。また水質によっては全く異なった考察を加えていく必要もあろう。いずれにしても多くのデータの蓄積、経験が必要であり、そのことが必然的により迅速で正確な判定に結びつくことは言うまでもない。

—参考文献—

- 日本水道協会編；上水試験方法（1978）
半谷高久；水質調査方法，丸善，p. 355～p. 379（1960）
水収支研究グループ編；地下水資源学，共立出版（1973）
花岡ら；下水道協会誌，6，63，p. 71～p. 73（1969）
川口ら；土壌学，朝倉書店（1974）
山根ら；図説，日本の土壌（1978）