

# 水質から見た地下水の挙動

吉川清志<sup>1)</sup>

## 1. はじめに

地下水と聞くと、清浄で渾水期にも潤沢な水量を供給するものというイメージを持つ方が多いでしょうか。あるいは揚水過多による地盤沈下や沿岸部の塩水化、地表からの有害化学成分や微生物による汚染といった、マスコミ報道の記事になるような事項の印象が強い方もあるでしょう。

地表に見える河川も、水の流れとしてはいわば氷山の一角であり、地下に浸透できなかった残りが表層を流れているものと見なすこともできる。

都市部では、河川の護岸工事や道路の舗装化が進み、雨水の地下への浸透が妨げられることにより、大雨の際に家屋への浸水の被害が増加するなどの問題を生じている。その対策として、雨水を地下へ浸透させるようにしたり、地下に水を溜める施設を作るなど、地下水の役割を再認識して、都市計画が進められるようになってきている。

目に見える地表の河川だけでなく、目に見えない地下水の流れにも、注目する必要がある。地下水に関して筆者の経験に基づく話題を紹介する。

## 2. 地下水の水質の成り立ち

雨水はほとんど溶存成分を含んでいない。ところが、大気中の二酸化炭素濃度が約0.03%であるのに対して、土壤中では数%を示すことが普通であり(吉川・高橋, 1983), 二酸化炭素が水に溶けることにより、まわりの岩石を溶かし易くなる。地質によってミネラル成分が異なるので、水質は地下

水の履歴を知る糸口となる。

火山周辺などでは、マグマ活動の影響で、塩素や硫化水素等が地下水に溶け込み、pH2を切るような強酸性を示す温泉がいくつも知られている。このような環境では、溶け易いミネラルの種類が増加する。他の水で希釈されたり、空気に触れたりする場所で、ミネラルなどが沈澱するのが見える。

平野部の地下では、地下水面の勾配がほとんどない停滞水となっている場所もあり、長い時間を掛けて、岩石中の粘土鉱物等によるイオン交換が進み、水質が変化する例もある。

これらは、自然環境における水質であるが、近年は人間活動による影響も多くなっている。

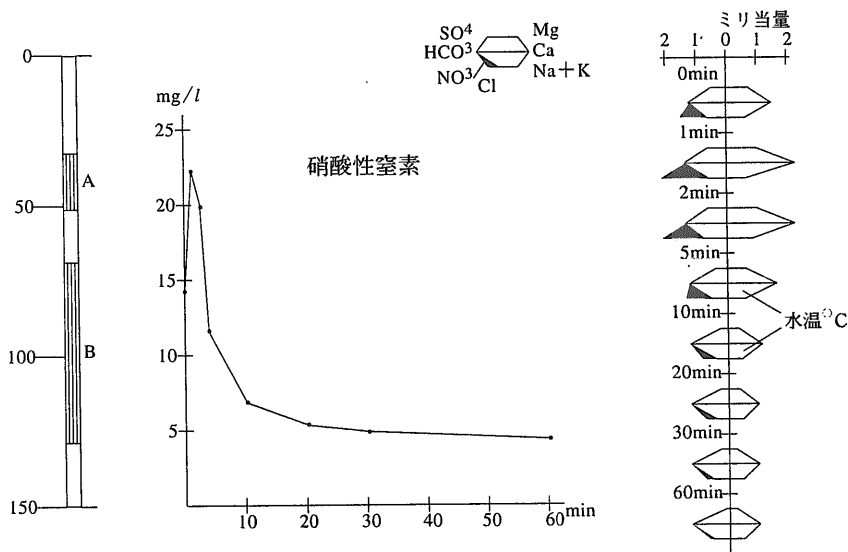
広域的に見られる影響の例として、肥料の多量投与などに伴う硝酸イオン( $\text{NO}_3$ )がある(永井, 1992)。自然界においては、硝酸イオンはほとんど見られないので、人為的な影響であると判断できる。また、トリクロロエチレンなどの有機物質の含有も話題となることがある。

沿岸部では、地下水の揚水が過剰になると、地下水面が海面以下となり、海水の浸透による塩水化が進むことがある。塩水化した地下水には、ナトリウム(Na)や塩素イオン(Cl)などが著しく多く含まれている。

なお、弱酸性～弱アルカリ性で酸素が乏しい環境では、大部分のミネラルはほとんど溶けず、アルカリ金属(ナトリウム・カリウムなど)イオン、アルカリ土類金属(マグネシウム・カルシウムなど)イオンが、陽イオンの主成分となり、酸素が乏しい環境では、鉄やマンガンイオンなどを多く含むこともある。

1) 地質調査所 環境地質部

キーワード: 地下水汚染, 温泉水, 地震予知



第1図  
複数の帯水層にストレーナーを設置している井戸の、揚水開始後の水質の変動 (永井・吉川, 1991).

### 3. 帯水層の位置と水質

地下水の採水における留意点を述べる。

地表から浸透した水が、その場所における最初の難透水層で妨げられてその上を流れる地下水(不圧地下水)は、地表からの汚染を受けやすい事は容易に想像される。人里離れた上流でかん養され、人間活動の盛んな地域で、難透水層より深部を流れる地下水(被圧地下水)は、一般的に汚染の影響を比較的受け難いと考えられる。

地下水の水質を議論する場合、解釈に誤りを生じないために、どの帯水層から水を採っているかを明確に知る必要がある。

自治体などが設置する地盤沈下観測井では、同じ敷地内に複数の井戸を掘って、それぞれ特定の帯水層をモニタリングするなど、その点に配慮が図られている。しかし、観測が目的ではない一般の揚水井では、水量を確保するために、幾層もの帯水層にストレーナーを設けている例が多く見られるので、注意が必要である。

赤城山麓における揚水井の、揚水開始後の時間と水質との関係を、第1図に示した(永井・吉川, 1991)。この揚水井では、2層準にストレーナー(AとB)が設けられている。水質変動は、ヘキサダイアグラムで表示した。揚水時間の経過と共に水質が大きく変化し、また水温も次第に上昇している。この例では、揚水停止時は、上部の帯水層からの

水が、その水圧で下部の帯水層の地下水を押さえていたために、揚水当初は主として上部の水から成っていたのが、下部の帯水層の方が水量が多いため、揚水を続けると、下部の水が卓越するようになったとの解釈ができる。

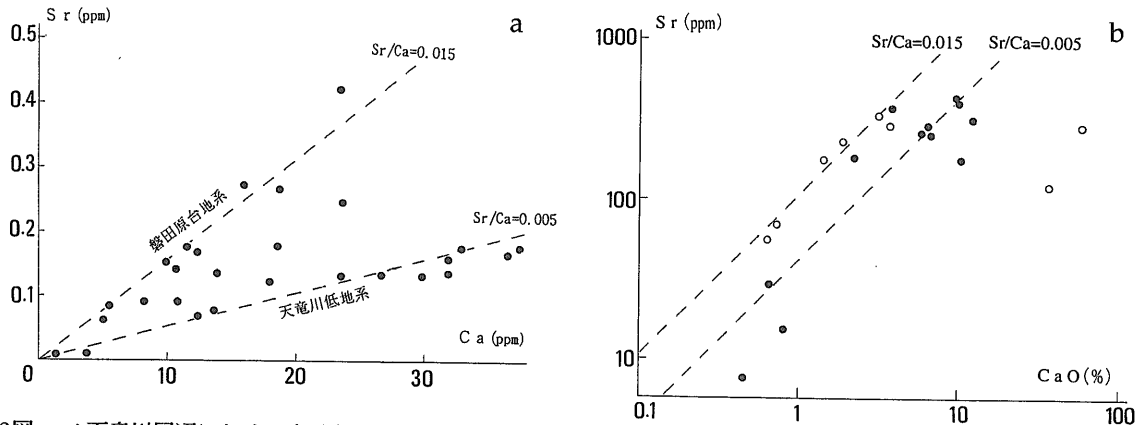
複数の帯水層を有する井戸の地下水調査では、このような点に留意する必要がある。

### 4. 水系による水質の違い

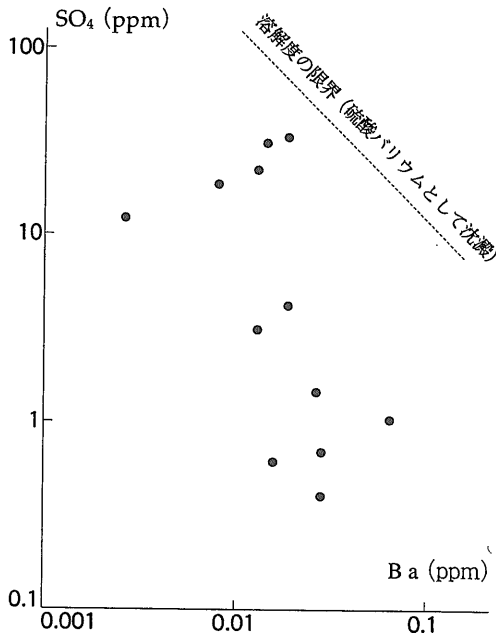
地下水の流れを知ることは、地表から汚染物質が浸透した場合に、その汚染域を見積もるためにも重要である。

地下水の水系の違いと水質に関するデータの一例として、静岡県の天竜川下流域とその周辺で調査した際の、各地下水のカルシウム(Ca)とストロンチウム(Sr)イオンのデータを第2図aに示す。これを見ると明瞭に2つに分かれ、一方は天竜川低地、他方は磐田原台地周辺の地下水に相当する。第2図bに、筆者が分析した地質調査所発行の地質標準試料のCa, Srの分析値を示した(吉川, 1990)。岩石の種類によって、Sr/Ca比が異なることが判る。アルカリ土類金属のCa, Srは、地下水に良く溶け、挙動も類似していることから、水系の地質が水質に反映することが考えられる。

同じアルカリ土類金属のバリウム(Ba)は、岩石中にはSrよりもやや多く含まれることが多いにも拘



第2図 a: 天竜川周辺における地下水のCa・Sr含有量, b: 地質標準試料のCaO・Sr含有量(黒丸: 火成岩シリーズ, 白丸: 堆積岩シリーズ 対数表示).



第3図 天竜川周辺における地下水のBa・SO<sub>4</sub>含有量(対数表示).

ならず, 地下水中の含有量はSrに比べて1桁程度少ない. それは, 硫酸バリウムが難溶解性であることから沈澱により除かれる効果が大きく, 硫酸イオン(SO<sub>4</sub>)の量に規制されることが考えられる. 同じく天竜川周辺での, BaとSO<sub>4</sub>イオンのデータを第3図に示す.

なお, 水質分析法は, 陽イオンは主としてプラズマ発光分析法を用い, 陰イオンは主としてイオンクロマトグラフ法を用いた.

### 5. 地震・火山活動と地下水

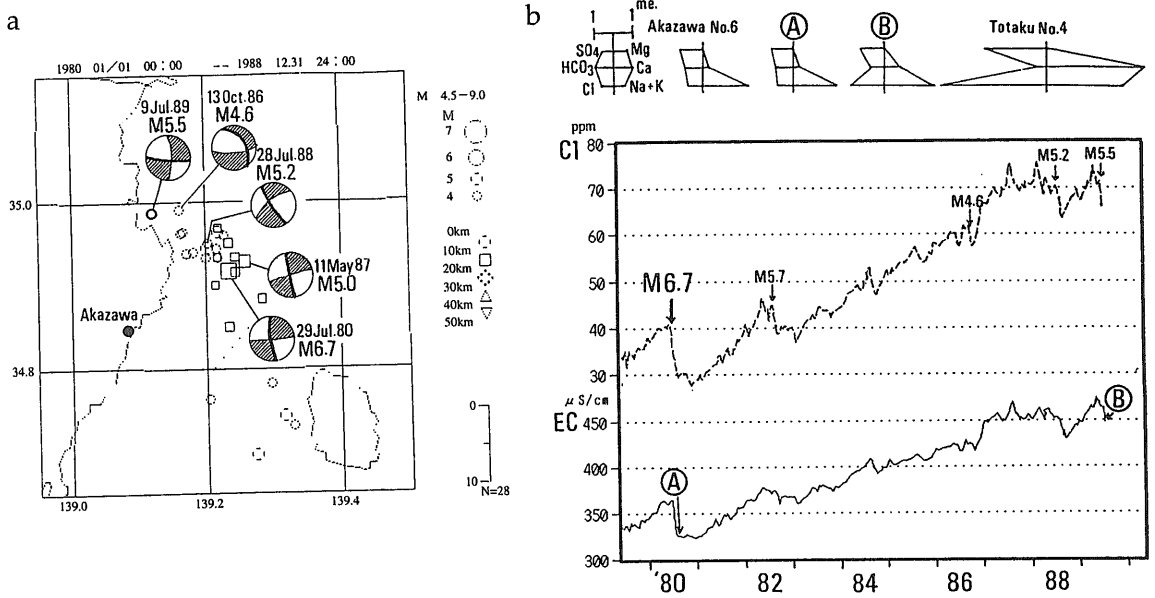
応用として, 地下水と地震・火山活動との関係について, 筆者らが研究を行った例をやや詳細に紹介する(吉川・永井, 1990).

地震の際に, 地下水(温泉水)の水量や水温が大きく変化するという現象は, 古来から数多く知られている. これらの原因はどのようなものかを探った.

観測を行ったのは, 伊豆半島東海岸の伊東市赤沢に位置する殖産住宅(株)の赤沢1・3・6号の自噴井である. これら3つの井戸はそれぞれ特性が異なり, 違った挙動を示す. 1号井は深さ779.5mでストレーナーは620.0~774.2mで154.2mと長く, 6カ所の温泉水層の記載があるように, 複数の帯水層タイプと考えられる井戸である. 3号井は深さ約150mの水井戸である. 6号井は深さ597.2mであり, 浅所からの冷水の混入を防ぐために300.2mまで井戸管の周囲をセメントで遮水しており, ストレーナーは最下部の574.0~583.4mの僅か9.4mで, 単一の裂か水のみを対象とする構造の温泉井である.

このうち, 赤沢3号井は, 普通の水井戸で溶存成分が少なく, 地震の際にも目立った変動を示していない. 地下の応力変化に強く影響を受けるタイプではないと考えられるので, データは割愛する.

赤沢6号井は, 観測以来目立った水質変動はなく, 井戸諸元が示すように単一の裂か水であると考えられる.



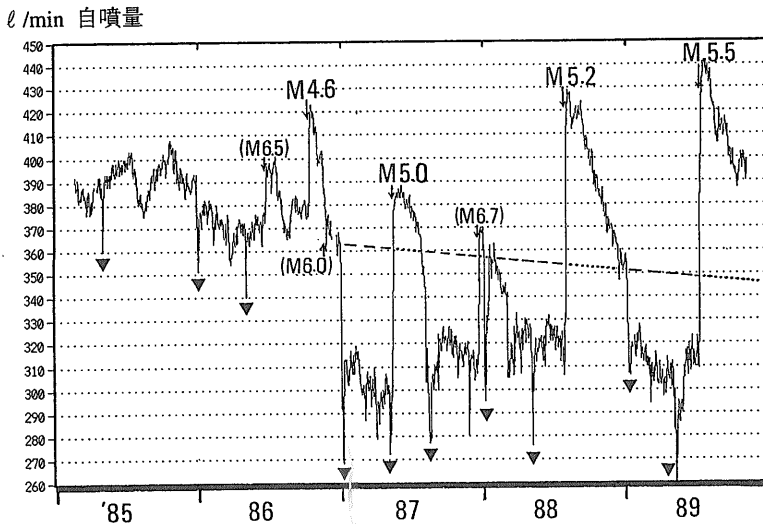
第4図 a: 伊東市赤沢観測井の位置と伊豆半島東方沖の群発地震。b: 伊東市赤沢1号井の電気伝導度・塩素イオン変動(吉川・永井, 1990)。

赤沢1号井の地下水の電気伝導率と塩素イオンの変動を、第4図に示した。図に示した伊豆半島東方沖の地震活動の後で両者は減少し、それ以外の時期は増加する傾向を示している。他の溶存成分も含めて水質変動を検討すると、2成分系の混合比の変動で近似することが可能である。左側の端成分は、第4図bの(A)で示したように、最も電気伝導率が小さいときの水質が、赤沢6号井の組成と酷似し、井戸の深さから見ても同じ裂か水だと考えられる。同図の(B)に示した組成パターンから判るよう

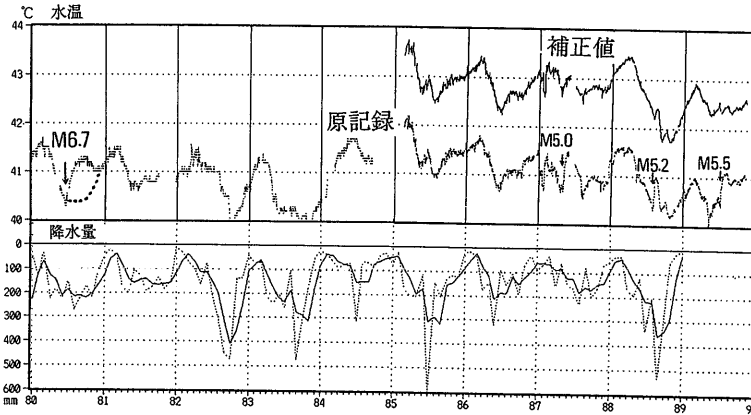
に、もう一方の端成分は、ナトリウムや塩素が多く、炭酸水素イオンに乏しい温泉水と見積もられ、近傍にそれに類似する温泉が見られる。

地震の際に赤沢1号井の泉質が変化するのは、水質の異なる裂か水の供給量の変動によるもので、地震による影響の帯水層に対する違いを反映するものと考えられる。

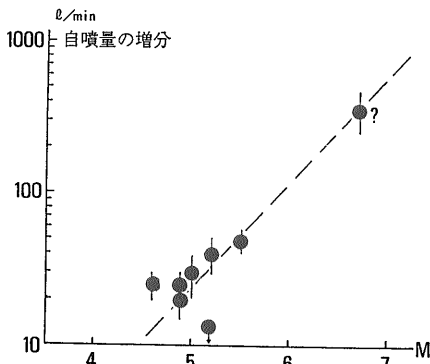
赤沢6号井では、1985年以降自噴量の観測を行い、第5図に示したデータを見ると、伊豆半島東方沖の群発の際に大きな変動を示していることが判



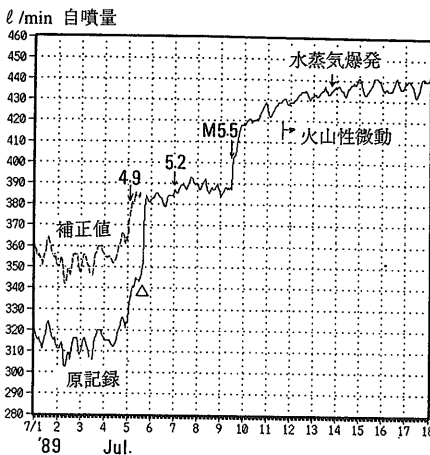
第5図 伊東市赤沢6号井の自噴量変動(吉川・永井, 1990)。



第6図  
伊東市赤沢6号井の水温変動(降水量は実線：1ヵ月、点線：3ヵ月移動平均)(吉川・永井, 1990)。



第7図 伊豆半島東方沖の群発地震の際の、伊東市赤沢6号井の自噴量増加(対数表示)(吉川・永井, 1990)。



第8図 1989年の群発地震・海底噴火の際の、伊東市赤沢6号井の自噴量変動(吉川・永井, 1990)。

る。この図では、地震後に自噴量が増加していることを示す。

人為的影響としては、年末年始とゴールデンウィーク

における周辺井戸の揚水の影響が見える。更に87年以降は、揚水後に元に戻らず約40 l/min程度低いレベルに留まる後遺症を生じるようになり、群発地震の際に回復することを繰り返すようになった。

赤沢6号井での水温観測は、第6図に示したように、それ以前の1980年より行っている。自噴量の変動による温泉水が井戸を上昇する間の冷却効果の違いによる水温変動の補正を行うと、自噴量の測定を開始した1985年以降の補正データを見ると、雨量の3ヵ月の移動平均とパターンが良く似ていることが判る。これは、後背地の降水の多寡による水圧の変動により、地下水が熱源を通る時間が変化する為と解釈される。身近な例としては、瞬間湯沸かし器が同じ火力でも、水量を変化させることで水温が変わることと同じ原理である。

それ以前に遡ると、大きな地震が起きた1980年以外は、原データと雨量の移動平均パターンが良く似ている。この期間は自噴量の変化が少なかったことが推定される。また、1990年の群発地震の際に、どの程度の自噴量増加があったかを逆算することが可能になる。この推定値を含めて、伊豆半島東方沖の群発地震の規模と地震の大きさとの関係を第7図に示す。

1989年には、群発地震から海底火山の噴火へと活動が起こった。筆者は、当時伊東市に滞在していて、不気味な火山性微動を経験したことを、今でも鮮明に覚えている。第8図にこの期間のデータを示す。大きな群発地震の際には自噴量が顕著に変動したが、前兆的な変化や火山性微動や水蒸気爆発の際の変動は殆ど見られない。この変動パター

ンは、他機関の光波測量・堆積歪計・傾斜計のデータと調和的で、温泉水の変動が地殻変動を反映していることが判る。

以上の例では、原データのみでは複雑な変化を示しているようにも見えるが、その変動要因は明瞭である。赤沢6号井が単一の裂か水を利用して、利点から、自然の現象はシンプルな要因の重なりによることが良く判る好例であった。

## 6. 地下水の異常現象、実は人為的影響

地質現象により地下水は大きな影響を受けるが、自然現象かと思われたものを調べると、実は人為的な要因であったと言う例についても紹介しておこう。

静岡県内では、東海地震や火山噴火への不安から、見慣れない現象があると、現地ではその予兆ではと不安になり、調査を依頼されたことがある。

筆者が調査した例では、複数の学校の地下水が高温になったと言う話があった。現地調査に赴いたところ、運良くその現象が見られ、原因を探ると水中ポンプが空回りしており、その発熱により井戸内の水温が高くなっていたことが判明した。調査結果は、地元の新聞でも報道された。

ほかの方々が担当した例では、地層から石油が滲み出しているとの報告を調査すると、油の組成

から原油ではなく市販の重油と極めて似ており、上流部で流された廃油によるものと結論づけられた例が紹介されている(安藤・杉山, 1987)。

地下水などに異変が見られた場合に、直ぐに天変地異に結びつけて騒ぎになったら、実は何と云うことのない人為的な要因と云うことはしばしば見られる。

地下水観測をしていると、自然の美しい規則性が見られることもあり、一方では自然現象ではなく人為的な影響だったり、色々なことがあるものである。

### 参考文献

- 永井 茂(1992): 地下水の無機汚染の実態と問題点. 地質ニュース, no.451, 20-28.
- 吉川清志・高橋 誠(1983) 丹那断層周辺における地下ガス観測  
月刊地球 vol.6, p.204-208.
- 永井 茂・吉川清志(1991): 地下水汚染の水文学的研究(6) 地下水学会秋季講演会講演要旨 p.182-185.
- 吉川清志(1990): ICP発光分析を用いたテフラの同定法とその応用  
地学雑誌 vol.99, No.7, p.11-26.
- 吉川清志・永井 茂(1990): 伊東市赤沢6号温泉井の自噴量・水温変動とその原因—伊豆半島東方沖付近の地震・火山活動との関連— 地震第2輯 vol.43, p.243-256.
- 安藤直行・杉山雄一(1987): 泰山鳴動してミミズ一匹—静岡県相良町石油流失事件始末記—. 地質ニュース, no.389, 48-51.

---

KIKKAWA Kiyoshi (1997): Geochemical investigation of the groundwater.

---

<受付: 1997年7月17日>