

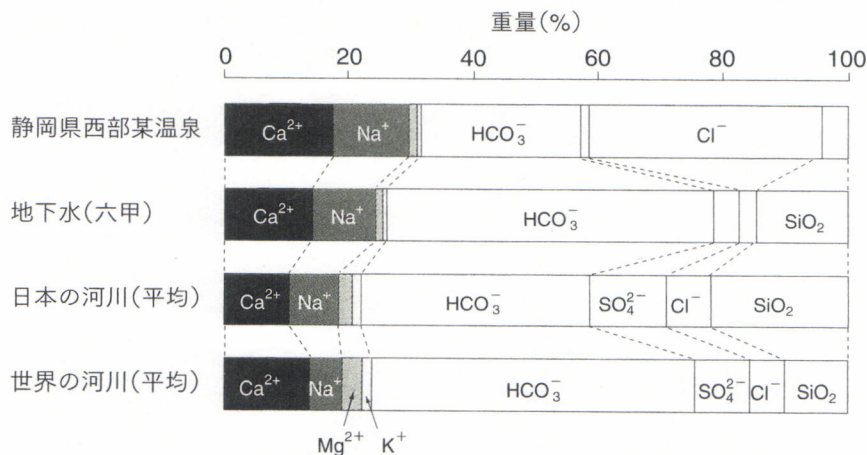
## 温泉で想う

大河内直彦 おおこうち なおひこ  
海洋研究開発機構

先日、静岡県西部を訪れた際、久方ぶりに温泉に浸かった。その際、脱衣所入り口付近の壁にかかった額にふと目が留まった。温泉水に含まれる成分を示した例の表である。温泉法によって揭示を義務づけられたこの成分表に、これまで特に意識することはなかったのだが、化学で地球を研究している者からすれば実はきわめてありがたいことである。今ごろになって、そんなことに気づいた。しかも聞くところによると、湯は1.5 kmもの深さから汲み上げられているらしい。そういえばここは火山とは縁のない静岡県西部である。水温25℃以上というのが温泉の定義のひとつだから、地温勾配の低いところでは、より深くにまで手を伸ばさねばならないというわけだ。しかし近年の技術進歩のおかげで、深い孔が安価で掘れるようになっている。情報の少ない地下を調べるには、こういった情報を利用しない手はない。もちろん、そう考えたのは私が最初ではない。多くの先人たちがこれまで、温泉水や地下水の化学分析を通して、地面の下に広がる世界について思いを馳せてきた。

温泉水に限らず、地下から湧き出してくる水はいずれ河川に流れ込む。雨水だけでなく温泉水や地下水などいったん地下を経由した水も、川を流れる水の重要な起源である。おかげで河川水には、さまざまな成分が溶け込んでいる。舐めてもしょっぱくない湧き水や河川水にも、ごくわずかながら「塩」が含まれている。そういったわずかな成分のブレンド具合が、全国各地で名水を生んできたとも言える。もちろん、私たちが手を洗ったり飲んだりする水道水にも多様な成分が含まれている。その証拠に、水道水を熱して蒸発させる加湿器は、一冬使い続ければ塩だらけになる。

図は、温泉水、地下水、それに河川水といった、陸上で見られる天然水の成分を示したものだ。火山地帯から湧く温泉水に含まれる成分は、火山岩との熱水変質作用や火山ガスの影響を強く受けている。それに対して地下水は、風化作用(熱水変質作用に対し、冷水変質作用とも呼べるだろう)による影響が強く、陽イオンはカルシウムとナトリウム、陰イオンは重碳酸イオン、硫酸イオン、塩化物イオンなどが一般的に多くなる。風化とは、早い話がもとと高温高压かつ還元的な環境で生まれた火成岩が、低温低压かつ酸化的な地球表層環境に馴染んでいく変化であり、斜長石、角閃石、雲母といった鉱物と(主に)炭酸水の化学反応である。特に斜長石は重要な「母岩」となり、モンモリロナイトなどの粘土鉱物に変化していく。世界平均と比



図一陸上で見られる各種天然水に含まれる主要成分の割合

上から順に、静岡県西部の温泉水<sup>6</sup>、芦屋市で採取された六甲の地下水<sup>6</sup>、日本の河川水の平均値<sup>7</sup>、世界の河川の平均値<sup>7</sup>。



較すると、日本の河川にはカルシウムが少ない。これは、日本の地質が石灰岩を含まない深海堆積物と、それを被覆する火成岩が母体になっているからである。

ただし地下水や河川の成分は地質や気候に大きく左右されるので、個々の河川によって大きくばらつく。石灰岩が露出しているようなところでは、カルシウムがふんだんに溶けているし、海に近いところで湧く地下水には、海水の影響を受けて海水のナトリウムと塩素が多いところも多い。逆に、こういった地下水や河川水の化学組成から、地下で起きていることを伺い知ることができる。

74名もの死者を数えた2014年8月の広島土砂災害は、日本列島の各地に点在している花崗岩地帯で起きた。この土砂崩れのニュースを見て、かつて六甲山の溪流水の分析を通して土砂災害を予測した北野康らの先駆的な研究<sup>1</sup>を思い出した。六甲山は花崗岩の岩体でできており、大規模な土石流が発生した広島と同様の地質をもち、同じく土砂災害の多い土地柄である。北野らが行った研究によると、花崗岩が風化して地下水に溶出する成分はそのまま溪流水の成分となる。マグマが地下でゆっくり固まった花崗岩は風化されやすく、溪流水にそのシグナルが顕著に現れるのである。そしてそれらの濃度は、山地崩壊のパターンときわめてよく一致するという。つまり地下水の化学成分が、土砂災害のポテンシャルを測る物差しになるというわけだ。溪流水中の化学成分が土砂災害の予知に役立つという研究は、その後いくつかの地域に応用され確かめられてきた<sup>1</sup>。

上述の北野らの研究などが発端となって、花崗岩地帯が土砂災害の危険と隣り合わせであることは災害科学の分野で広く知られてきたことだ。しかし広島の土砂災害の現場は、さまざまな社会的要因により土砂災害警戒区域に指定されていなかったと聞く。おそらく似たようなところは日本各地にあるだろう。科学がさまざまな理由で社会の中でうまく生かされていない事例を見るにつけ、大変残念な思いをする。地下からやってくる水は、飲み水や温泉といった利用法だけではない。その

化学成分の情報は、災害予測にも役立つのである。

地下水や河川水の化学組成は、時間とともに変動もする。単に降水や台風などのイベントの前後で変わるだけではない。地下水の化学組成は、もう少し長い目で見れば、地下の応力場を反映する。実際、阪神・淡路大震災の際も、地下水の化学組成には数か月前から異常が見られていた。硫酸や塩素イオンの濃度は地震前の半年の間に徐々に上昇し<sup>2</sup>、地下深部からやってくる(ウランが放射壊変して生まれた)ラドンの濃度も地震の直前に大きく跳ね上がった<sup>3</sup>。地下水脈のネットワークは、地下の隙間、割れ目を結んでいるはずだから、地下の応力場が変われば当然ながら湧出量やその成分が多少なりとも変動することになるだろう。おかげで、地下水は地震予知研究の一つの方法として認められ、各地でモニター用の深井戸が掘られてきた<sup>4</sup>。しかし現実には多くの場合、そのモニタリングは水位などといった物理情報に限られており、決して十分とは言いがたい。今後地下水の化学組成の測定へとそのアンテナが広がっていくことを期待している。

最近では地下1~2 kmを掘った温泉が各地にある。私たちはこういった孔も積極的に活用して、地下からやってくるシグナルにもっと真摯に耳を傾けねばならないのではないだろうか。雪が天からの手紙<sup>5</sup>なら、地下水や温泉水は地下からの手紙なのである。

#### 文献と注

1—北野康: 地球環境の化学, 裳華房(1984)

2—U. Tsunogai & H. Wakita: *Science*, **269**, 61(1995)

3—G. Igarashi et al.: *Science*, **269**, 60(1995)

4—地下水位については、たとえば独立行政法人産業技術総合研究所によって西南日本各地で観測用の井戸が掘られ、日々モニターされている。その観測結果は、以下のホームページ上に日々アップされている。<https://gbank.gsj.jp/wellweb/GSJ/index.shtml>

5—中谷宇吉郎: 雪は天からの手紙, 岩波少年文庫(2002)

6—吉岡龍馬: 日本地下水学会誌, **26**, 147(1984)