

討 論

諺を科学する
—「点滴」は「石を穿つ」か?—佐々木 信 行¹⁾

(平成 28 年 1 月 20 日受付, 平成 28 年 2 月 4 日受理)

Scientific Interpretation of Proverbs
—Is It possible “Constant Dripping Wears the Stone” ?—Nobuyuki SASAKI¹⁾

1. はじめに

「点滴石を穿つ (Constant dripping wears away the stone.)」は中国の諺で、「どんな小さな力でも根気よく続ければ、いつかは成功し、事が成る」(時田, 2000) という意味で、「雨垂れ石を穿つ」とも言われる。その説明の中に「古い石段の石が長年に大勢の人に踏まれ、摩耗して、低くなることも同じような現象と考えられる」とある(時田, 2000; 宮腰, 1983)。出典は中国の文選で、日本における用例も古く、曾我物語における「それ泰山の霤は石を穿つ」は文選の表現を受けているものである。

本稿では先の「転石苔を生ぜず」(佐々木, 2016)と同様に、水と石が関わるこの諺について、その科学的妥当性について考察してみたい。

2. 点滴で石は削れるのか

下駄や靴が何千回, 何万回あたることにより階段の石が摩耗するのは何となくわかるような気がするが, 雨垂れのような小さい水滴で硬い石が削れるのか, というのは素朴な疑問である。人と雨垂れでは重量は比較にならないものの, 何十万回, 何千万回繰り返し水滴が当たり続ければ少しは擦り減っていくのだろうか。実際に水滴が当たり続けてきたと思われる石に窪みや穴ができていものを見ることができるので, 何滴当たるのかはさておくとして, 「千里の道も一歩から」, 「チリも積もれば山となる」で, 長い時間をかければあるいは水が「一念岩をも通す」のかもしれない,

¹⁾香川大学教育学部 〒760-8522 高松市幸町 1-1. ¹⁾Faculty of Education, Kagawa University, 1-1, Saiwai-cho, Takamatsu Kagawa Prefecture 760-8522, Japan. E-mail sasa-yuki@ed.kagawa-u.ac.jp, TEL 087-832-1459, FAX 087-832-1459.

と考える人がいても不思議ではないであろう。

しかし、長年、石や水の研究をしてきた筆者のような立場からすると、水滴の衝突が物理的に石を摩耗させる、という表現には違和感があり、それより前に考えておくべきことがあるのではないかという思いがある。それは水と石の化学的相互作用である。

3. 石と水の相互作用

3.1 石を穿つとは

石というのは、物質的にはケイ酸塩や炭酸塩、硫化物や酸化物などさまざまな種類の無機化合物(鉱物)からできている混合物である(佐々木・綿抜, 1995)。これらの鉱物は共有結合やイオン結合などの強い結合をもった化合物で、硬度、融点ともに高い物質であり、化学的にも難溶性で、通常の酸や塩基にも比較的溶けにくい物質であるといえる。しかし、岩石を構成する鉱物と鉱物の間は鉱物粒界(結晶粒界)として単一相としての鉱物内部の結合ほど強いものではない。それゆえ長い間水滴に接触しているうちに鉱物粒界の破壊とともに鉱物結晶が剥がれ、その跡が穴として残る、というような可能性がまずひとつ考えられる。それからもう一つは、鉱物自体が溶けて穴が開く、という場合である。

3.2 石を溶かす力

炭酸塩や酸化物のような単一の物質(鉱物)からなるような石も全く水に溶けないというわけではない。炭酸塩として炭酸カルシウムなど水に溶け難いものが石灰石として、あるいは酸化物として二酸化ケイ素が珪石(硅石)として天然に大量に存在している。

物質が水などの溶媒に溶ける量を溶解度というが、どんなに溶けにくい物質でも溶解度はゼロではない。そして、相手が酸とか塩基になるともっと溶けやすくなることが多い。化学的にはケイ酸塩はフッ化水素酸に溶けやすいことが知られているが、これは天然にはあまり存在しない酸である。

天然水で石を穿つ水といえば雨垂れの水が思い浮かぶが、大気中から降り注ぐ雨水は空気中の二酸化炭素をはじめ、近年では工場や自動車、あるいは航空機などから排出される廃ガス中に含まれる硫酸化物や窒素酸化物も溶かし込んでいる場合が多く、弱酸性を示す。このような pH が低い雨を酸性雨というが、このような雨水が石に当たると、微量とはいえ石の成分が雨水に溶け出すことが予想される。しかし、この諺ができた時代にはまだ酸性雨は発生していないであろうから、このような酸性の水としては火山性の酸性温泉の関与などが考えられる。

3.3 点滴が石を溶かす速度

今、雨水に溶け出す石の溶解速度を考えてみよう。とりあえず、石の溶解度として酸化ケイ素(SiO_2)と炭酸カルシウム(CaCO_3)の水(純粋)への溶解度や溶解度積を考えてみる。溶解度といっても物質の状態や構造によって溶解度は異なるが、二酸化ケイ素はシリカ(silica)の場合、炭酸カルシウムは方解石(calcite)の場合について、 25°C で次のような値になる。なお、石英(quartz)やアラゴナイト(aragonite)の溶解度はこれらとは異なる値である。

酸化ケイ素(シリカ)の溶解度 $0.012\% \div 0.12 \text{ g/L} = 0.002 \text{ mol/L}$

炭酸カルシウム(方解石)の溶解度積 3.6×10^{-9}

これらの値より水に溶けうる物質質量は計算できるが、これは溶解しうる最大量であって、実際に水滴が石と接触する単位時間に溶ける量は、溶解の反応速度がわからなければわからない。そのためには溶解の反応速度定数がわからなければならない。いま、炭酸カルシウムの場合を例にとりて、

炭酸カルシウムの溶解反応の反応速度を推定してみよう。炭酸カルシウムの溶解反応の反応速度定数を k とすると溶解速度は次のような式 (Newton の式) で表わされる。

$$dc/dt = k \cdot s(c_s - c) \quad (1)$$

ここで、 c_s は溶解度であり、 s は固-液界面の表面積、 c は固体を溶かす溶液の濃度である。しかし、ここでは、この溶解速度定数の正確な値がよくわからないので、今回はこの式を用いての溶解速度の推定は断念し、別の機会に改めて議論したい。

3.4 溶解に要する時間

ここでは炭酸カルシウムの多形の1つである方解石の溶解度積をもとに、水滴による方解石を穿つような溶解に要する時間を計算してみよう。涙のような小さい水滴に溶ける方解石の溶解量から、目に見えるある程度まとまった量の石が溶けるのに要する時間である。方解石の水に対する溶解度はその溶解度積から計算すると、

$$\begin{aligned} 100 \times \sqrt{K_{sp}(\text{CaCO}_3)} &= 100 \times 6 \times 10^{-5} \\ &= 6 \times 10^{-3} \text{ g/L} \end{aligned} \quad (2)$$

となる。溶解度を 0.006 g/L とすると、1 滴の水 (およそ 0.05 mL) に溶ける石の量は石にあたる水滴の数を毎秒 1 個として、1 秒間の接触時間で溶解度のおよそ 0.1% の石が溶けると仮定 (高く見積もった仮定) すると、毎秒

$$0.006 \times 0.05 \div 1000 \times 0.001 = 3 \times 10^{-10} \text{ g} \quad (3)$$

だけ溶けることになる。溶かすべき石の量をおよそ 1 g とすると、それに要する時間は

$$\begin{aligned} 1.0 \div (3 \times 10^{-10}) &= 3.3 \times 10^9 \text{ 秒} \\ &= 9.2 \times 10^5 \text{ 時間} \\ &\approx 105 \text{ 年} \end{aligned} \quad (4)$$

となり、およそ 100 年という膨大な時間がかかることになる。同じ位置に水滴が落ち続けるためには周囲の状況が数 mm 以内の誤差で維持されなければならないので 100 年というのは鍾乳洞のようなよほど特殊な場所でない限り同じ状況を保つには長すぎる時間であろう。

それでは、水滴が炭酸水や酸性温泉のような酸性溶液であった場合はどうであろうか。方解石は次のような反応式で表わされるような反応で



比較的容易に溶解され穴があくことが推察される。近年、ヨーロッパなどで酸性雨の影響で野外の大理石の像が激しく侵されている姿なども同様の原因によるものであると考えられる。

4. 地質学的時間とは

100 年というのは人の一生からすれば長い時間であるといえるが、地質学的にはそれほど長い時間ではない。地球の年齢が 46 億年、現在の宇宙の年齢が 137 億年という時間に比べても短い時間であろう。しかし、この諺のように同じ場所に同じように水が当たり続けるという状況を想定するとすれば 100 年はかなり長い時間ということになる。しかし、もし点滴が酸性温泉のような酸性の水溶液であればもう少し短い時間でも溶解は十分可能であるということになる。あるいは、石に水溶液が当たり続け、岩石の弱い部分から変質し、剥がれ落ちるといったような状況も考えられる。これはいわゆる風化現象である。

5. 塵も積もれば山となるか

「点滴石を穿つ」と似たような諺に「塵も積もれば山となる」、「千里の道も一歩から」などがあるが、「塵も積もれば山となる」について考えてみよう。塵も積もれば山になるのだろうか。また、現在私たちの見る山の中に塵が積もってできたものはあるのだろうか。

かつて、エネルギー資源として石炭が使われていた時代に、九州の炭鉱の周辺地域に大量に掘られた石炭に付随して生じる大量の石炭屑が溜まり、山のような状態を呈し、「ぼた山」と呼ばれていたが、これはまさに「塵も積もれば山」であったが、私たちが通常目にする山はそのようにしてできたものではない。山は地殻の隆起や、火山活動など地殻変動、そしてその後の浸食によってできたというものが多い。連続的な変化というよりは不連続な変化の集積としてできたという方が適当であろう。

6. ま と め

諺の「点滴石を穿つ」について考えてみた。一見不可能に見える困難なことでも、少しずつ絶え間ない努力を続けていけば解決し成就していけるということの譬えであるが、それに要する時間は単一相としての鉱物が通常の水と反応した場合を考えれば、相当に長い時間（地質学的時間）になることが溶解反応の反応速度の観点から導かれる。それゆえ、実際的にはこのような溶解反応を私たちの限られた生活時間の中で起こすことができるとすれば、点滴が炭酸や酸性泉のような酸性溶液の場合ではないかと推察される。

なお、この小論は前回出した私の「転石苔を生ぜず」に関する討論に、ほどなく赤井静夫様から有益なご返事の討論原稿をいただいたことが刺激になって、御礼の意味も込めて、書かせていただいた次第である。

引用文献

- 北野 康 (1990) : 「炭酸塩堆積物の地球化学」, 東海大学出版会。
北野 康 (2003) : 「地球の化学像と環境問題」, 裳華房。
日本化学会編 (2004) : 「化学便覧 基礎編 改訂 5 版」, 丸善。
斎藤一夫 (1969) : 「無機化合物」, 裳華房。
佐々木信行・綿抜邦彦 (1995) : 「天然無機化合物」, 裳華房。
佐々木信行 (2015) : 諺を科学する—「転石苔を生ぜず」の真実—, 温泉科学, 65, 114-119。
篠田耕三 (1974) : 「溶液と溶解度 改訂増補版」, 丸善。