

元素濃度

申 基 澈
(総合地球環境学研究所)

元素濃度はある物質の中に含まれている元素の量を全体量中に占める割合で示したものです。例えば海水中の塩分濃度を 3.5% とします。これは海水 1Kg の中に塩分が 35 g 入っていることを意味します。塩分のうち 55% は塩化物イオン (Cl^-) で、30.6% はナトリウムイオン (Na^+) で構成されておりますので、それぞれ海水 1Kg 中に含まれる量は 19.25g と 10.71 g になります。つまり海水中的のナトリウム濃度は 10.71 g/Kg、塩化イオンは 19.25 g/Kg となります。これが質量分率で表した元素濃度です。

元素濃度は体積濃度や、質量濃度や、モル濃度で表すことができますが、一般には質量濃度をよく用います。上記の海水の Na 濃度 (10.71 g/Kg) を百分率で表すと 1.071 %、千分率で表すと 10.71% となります。含有量がもっと少ない元素の場合は百万分率 (ppm; parts per million) や十億分率 (ppb; parts per billion) を主に使いますが、極微量の場合には一兆分率 (ppt; parts per trillion) で表すこともあります。以下の表記はそれぞれ 1000 倍の比率関係です。

千分率 (%) : g/Kg (mg/g)

百万分率 (ppm) : mg/Kg ($\mu\text{g/g}$)

十億分率 (ppb) : $\mu\text{g/Kg}$ (ng/g)

一兆分率 (ppt) : ng/Kg (pg/g)

ただし、水の場合には水 1 Kg=1 L として、Kg の代わりに L をよく使います (mg/L)。

1. 元素濃度の測定

ある物質中に含まれるカルシウム (Ca) 元素の濃度を調べようとすると、Ca を特定でき、かつ量を測定できる装置が必要です。元素濃度を測定する装置は、主に試料の状態によって、固体で

測定する装置と溶液状態で測定する装置に分けることができます。岩石や土などに含まれている元素を測定する際には、表面をきれいにするか、細かく粉砕し粉状にしたものを用います。XRF (蛍光 X 線分析装置) や EPMA (電子線マイクロアナライザー) などがこれにあたります。一方、溶液状態で測定する装置は ICP-MS (誘導結合プラズマ質量分析装置) や ICP-発光装置などがあります。特に ICP-MS は、現在元素濃度分析に一番よく用いられている装置で、元素周期表にあるほとんどの金属元素について測定することができます、非常に優れた性能を持っています。約 10 分という短時間で 50 種類くらいの多元素を同時に測定することが可能ですし、濃度が濃い元素 (数十 ppm) と極微量しか含まれていない元素 (数 ppt) を同時に測定することも可能です。例えば、ある地域の河川水中の Na 濃度 (30 mg/L, ppm) と一緒にウラン (U) 濃度 (0.007 $\mu\text{g/L}$, ppb) を測定することが可能です。天然水中に含まれている元素の種類とその濃度を測定する時は、ろ過をして微粒子などを取り除いた後、硝酸を少量 (硝酸濃度が 1% くらいなるように) 添加して装置に直接導入します。それだけで、どの元素がどのくらい入っているかを測定することができます。岩石や土の場合は、濃酸を用いて溶解してから測定します。この場合は、固体試料の溶解に時間がかかりますし、使用する酸は毒劇物なので、取り扱いには細心の注意が必要です。

2. 元素濃度の変化

地球上のすべての物質は元素の集まりです。人間を含む生物は水素、炭素、窒素、酸素が中心ですし、岩石や鉱物はケイ素、酸素を中心とした集

合体です。他にも様々な元素が含まれています。含有量が少ない元素を微量元素といいますが、地球科学分野では 100 ppm 以下の元素に対して使います。ある物質中に含まれている元素の種類と濃度は、大体は同じ元素組成を持ちながらも、地域的な特徴も表すことが多いです。例えば日本の河川水とアメリカの河川水を比較しても、そこに含まれている元素の種類と濃度はそれほど変わりません。

元素濃度を調べることで様々な情報を得ることができます。例えば、ある特定の元素が周囲よりも濃ければ、そこはその元素を多く含む何かによって汚染されている可能性があることが分かります。その場合は、各元素濃度をさらに詳しく見ることで、何が汚染物質（汚染源）であるのかを特定し、どのように対処するかを判断する手がかりが得られるかもしれません。また、直接には見えない地下であっても、周りの地下水を測定することで、その汚染物質がどこからどこへ向って流れているのか、その汚染源は何かということを判断する手がかりが得られます。もし普段の元素情報が分かっているならば、何らかの突発的な出来事（集中豪雨や汚染物質の流出など）があった場合、それらの出来事とその地域にどのような影響を及ぼすのかということを、元素の変化から判断することも可能です。このように、元素の種類と濃度及びその変化は我々に様々な情報を与えてくれます。

元素濃度の変化を水を例にみてみましょう。水分子は、正電荷（+）と負電荷（-）が偏っている極性分子と呼ばれる分子です。そのため極性を持つ様々なもの（イオンや極性分子など）と反応しようとするため、色々な元素が溶け込みます。どこで何が水に溶け込むかは水循環で説明できます。図 1 は地表環境での水循環の様子を簡単に表したものです。地球に存在している水は殆ど海水で占められています（97% 以上）。海から蒸発した水は水蒸気として大気中に移動し、雲になり、やがては雨や雪として地表に降ります。最初に蒸発した水はほぼ純粋な水であり、溶け込んでいる

元素の量は少ない（十数 mg/L 以下）です。

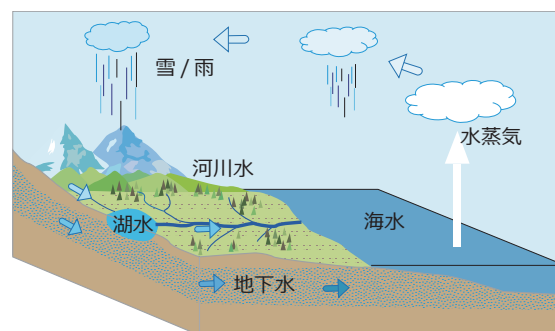
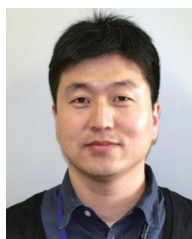


図 1. 地表環境での水循環

雨として降った水は地表を流れて川や湖を経て再び海に戻ります。一部は地下に潜って地下水として流れていきます。この際に水は様々な物質（岩石、土壌、植物や人工構造物）と反応して色々な元素が溶け込みます。海までたどり着くまでに時間がかかればかかるほど反応は進み、溶け込む元素の量は全体的に増えていきます。この際にどのような岩石や土壌を通して来たかによって、どのような元素が多く溶け込むかは変わります。例えば市販されているミネラルウォーターで最も有名なブランドの一つであるエビアンは石灰岩（ CaCO_3 ）地域の水なので、その水には Ca が豊富に含まれています。また富士山地域の地下水は他の地域の水と違って特有のバナジウム（V）を含んでいることが知られています。このように、含まれている元素の種類や濃度を調べることで、その水（その物質）の由来や移動経路を追跡することが可能です。すなわち、水に含まれている元素の種類と濃度を測ってその特徴を明らかにすると、その水が雨として降った後の履歴を把握することができるわけです。このように、元素濃度を調べるだけでも、その物質の移動経路を追跡することが可能ですが、これに同位体情報などを加えると、その正確度は一層向上します。

著者情報



申 基澈（総合地球環境学研究所
研究基盤国際センター）、2008 筑
波大学大学院生命環境科学研究科
博士課程終了、博士（理学）、
2009 筑波大学 研究基盤総合セ
ンター研究員、総合地球環境学研
究所技術補佐員、2011 産業技術

総合研究所 地圏資源環境研究部門 特別研究員を経て、2012 年より現職。

（2020 年 3 月 31 日掲載）

（2020 年 4 月 7 日改版）