

元素の同位体比

陀 安 一 郎
(総合地球環境学研究所)

1. 元素の安定同位体と放射性同位体

元素は、すべての物質や生物を構成する要素です。図1に現在確認されている元素のリスト（周期表）を示しますが、一つ一つの元素は「原子番号」で特定されます。「原子番号」は元素に含まれる「陽子」の数のことを意味します。一方、同じ元素（同じ陽子数）であっても、「中性子」の数は原子によって異なることがあり、これを「同位体」と呼びます。「同位体」の中には、時間が経つと放射線を出して原子核（陽子と中性子が結合した複合粒子）が崩壊する「放射性同位体」と、時間が経っても原子核が崩壊しない「安定同位体」が存在します。

図2に水素の例を示しますが、この3つはいずれも陽子が1個なので、原子番号1の水素です。このうち、左の2つは中性子の数が0個と1個で

すが、いずれも時間が経っても崩壊しないので、安定同位体といいます。一方、右の中性子が2個のもの（ ^3H ）は時間が経つと崩壊するので、放射性同位体といいます。

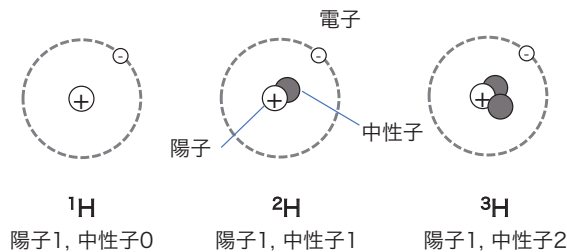


図2. 水素の同位体の例 原子番号1の水素には陽子1個と中性子0個を持つ安定同位体 ^1H 、陽子1個と中性子1個を持つ安定同位体 ^2H （重水素、デューテリウム、Dとも書く）、陽子1個と中性子2個を持つ放射性同位体 ^3H （三重水素、トリチウム、Tとも書く）があります。

族	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
周期	1 H 水素																	2 He ヘリウム
2	3 Li リチウム	4 Be ベリリウム											5 B ホウ素	6 C 炭素	7 N 窒素	8 O 酸素	9 F フッ素	10 Ne ネオン
3	11 Na ナトリウム	12 Mg マグネシウム											13 Al アルミニウム	14 Si ケイ素	15 P リン	16 S 硫黄	17 Cl 塩素	18 Ar アルゴン
4	19 K カリウム	20 Ca カルシウム	21 Sc スカンジウム	22 Ti チタン	23 V バナジウム	24 Cr クロム	25 Mn マンガン	26 Fe 鉄	27 Co コバルト	28 Ni ニッケル	29 Cu 銅	30 Zn 亜鉛	31 Ga ガリウム	32 Ge ゲルマニウム	33 As ヒ素	34 Se セレン	35 Br 臭素	36 Kr クリプトン
5	37 Rb ルビジウム	38 Sr ストロンチウム	39 Y イットリウム	40 Zr ジルコニウム	41 Nb ニオブ	42 Mo モリブデン	43 Tc テクネチウム	44 Ru ルビジウム	45 Rh ロジウム	46 Pd パラジウム	47 Ag 銀	48 Cd カドミウム	49 In インジウム	50 Sn スズ	51 Sb アンチモン	52 Te テルル	53 I ヨウ素	54 Xe キセノン
6	55 Cs セシウム	56 Ba バリウム	ランタノイド系	72 Hf ハフニウム	73 Ta タンタル	74 W タングステン	75 Re レニウム	76 Os オスミウム	77 Ir イリジウム	78 Pt 白金	79 Au 金	80 Hg 水銀	81 Tl タリウム	82 Pb 鉛	83 Bi ビスマス	84 Po ポロニウム	85 At アスタチン	86 Rn ラドン
7	87 Fr フランシウム	88 Ra ラジウム	アクチノイド系	104 Rf ラザホージウム	105 Db ドブニウム	106 Sg シーボーギウム	107 Bh ボーリウム	108 Hs ハツシウム	109 Mt マイテナリウム	110 Ds ダーセチウム	111 Rg レントゲニウム	112 Cn コペルニシウム	113 Nh ニホニウム	114 Fl フレロビウム	115 Mc モスコビウム	116 Lv リバモリウム	117 Ts テネシン	118 Og オガネソン

凡例
原子番号
元素記号
元素名

ランタノイド系	57 La ランタン	58 Ce セリウム	59 Pr プラセオジム	60 Nd ネオジム	61 Pm プロメチウム	62 Sm サマリウム	63 Eu ユウロピウム	64 Gd ガドリニウム	65 Tb テルビウム	66 Dy ジスプロシウム	67 Ho ホルミウム	68 Er エルビウム	69 Tm ツリウム	70 Yb イットリビウム	71 Lu ルテチウム
アクチノイド系	89 Ac アクチニウム	90 Th トリウム	91 Pa プロトアクチニウム	92 U ウラン	93 Np ネプツニウム	94 Pu プルトニウム	95 Am アメリシウム	96 Cm キュリウム	97 Bk バークリウム	98 Cf カリホルニウム	99 Es アインシュタインウム	100 Fm フェルミウム	101 Md メンデルビウム	102 No ノーベリウム	103 Lr ローレンシウム

図1. 元素の周期表（日本化学会原子量専門委員会 2019）。本書に登場する「軽元素」はオレンジ、「重元素」は緑で表示します。

2. 元素の同位体比

「同位体比」とは、同位体の数の比のことを指します。どの比を「同位体比」として使うかは、それぞれの元素によって異なっています。詳しくは、「軽元素同位体」および「重元素同位体」の章で説明しますが、ここでは図2の水素について見てみましょう。

地球上の水のほとんどは海水に存在しますが、海水 (H₂O) は水素 (H) と酸素 (O) で成り立っています。海水の水素の安定同位体は ¹H が 99.984%、²H が 0.016% 存在します (Meija et al. 2016)。これを国際機関である IAEA が「標準海水 (VSMOW)」と呼んでいます。この標準海水について、2つの同位体の存在比 (²H の量 / ¹H の量) を計算することができます。一方、皆さんの家の水道の蛇口から出てくる水の中の水素にも ¹H と ²H が存在しますが、これらから同様に 2つの同位体の存在比 (²H の量 / ¹H の量) を計算することができます。

しかし、この同位体の存在比 (同位体比) の値は非常に小さく (例えば VSMOW の水素の場合は 0.00015576)、また自然界での様々な物質の同位体比の変化も小さいため、これらの値の差がわかりにくいことから、同位体比を「標準物質に対する偏差 (δ 値)」で表すことがあります。試料の水素同位体比 (δ²H) は、試料と標準物質 (水素については VSMOW) の同位体比のさらに比をとった「偏差」を計算し、

$$\delta^2\text{H} = \frac{\left[\frac{{}^2\text{H}}{{}^1\text{H}} \right]_{\text{試料}}}{\left[\frac{{}^2\text{H}}{{}^1\text{H}} \right]_{\text{VSMOW}}} - 1 \quad (\text{式 1})$$

と表します。同位体の割合に関して地球上での変動はほんのわずかなので、式1の値は0に近い数字になります。そのため、同位体比 (δ 値) は一般的にこの数字を千分率 (‰) で表現します。例

えば、この値が 0.006 の場合は 6‰ となりますし、-0.010 の場合は -10‰ となります。これは「標準物質 (「軽元素同位体」の項目を参照)」に比べて、試料中の「重い同位体」が多いとプラスの値、少なければマイナスの値になります。

文献

Coplen TB (2011) Guidelines and recommended terms for expression of stable-isotope-ratio and gas-ratio measurement results. Rapid Communications in Mass Spectrometry 25: 2538-2560.

<https://doi.org/10.1002/rcm.5129>

Meija et al. (2016) Isotopic compositions of the elements 2013. Pure and Applied Chemistry 88:293-306.

<https://doi.org/10.1515/pac-2015-0503>

日本化学会原子量専門委員会 (2019)

<http://www.chemistry.or.jp/activity/atomictable2019.pdf>

著者情報



陀安一郎 (総合地球環境学研究所 研究基盤国際センター教授) 1997 年京都大学大学院理学研究科修了、博士 (理学)。日本学術振興会特別研究員・日本学術振興会海外特別研究員を経て 2002 年総合地球環境学研究所助手、2003 年京都大学生態学研究センター助教授・准教授、2014 年より現職。

(2020 年 3 月 31 日掲載)

(2020 年 4 月 7 日改版)

(2022 年 3 月 31 日改版)

(2023 年 3 月 31 日改版)