

原子	原子核	陽子		電荷	+
		中性子			0
	電子			-	

陽子の数（原子番号）で化学的性質が決まります

元素の周期律表

		族																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
周期	1	1 H 1.008																	2 He 4.003
	2	3 Li 6.941	4 Be 9.012	原子番号 元素記号 原子量										5 B 10.81	6 C 12.01	7 N 14.01	8 O 16.00	9 F 19.00	10 Ne 20.18
	3	11 Na 22.99	12 Mg 24.31											13 Al 26.98	14 Si 28.09	15 P 30.97	16 S 32.07	17 Cl 35.45	18 Ar 39.95
	4	19 K 39.10	20 Ca 40.08	21 Sc 44.96	22 Ti 47.87	23 V 50.94	24 Cr 52.00	25 Mn 54.94	26 Fe 55.85	27 Co 58.93	28 Ni 58.69	29 Cu 63.55	30 Zn 65.38	31 Ga 69.72	32 Ge 72.63	33 As 74.92	34 Se 78.97	35 Br 79.90	36 Kr 83.80
	5	37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.95	43 Tc (99)	44 Ru 101.1	45 Rh 102.9	46 Pd 106.4	47 Ag 107.9	48 Cd 112.4	49 In 114.8	50 Sn 118.7	51 Sb 121.8	52 Te 127.6	53 I 126.9	54 Xe 131.3
	6	65 Cs 132.9	56 Ba 137.3	57 La 138.9	72 Hf 178.5	73 Ta 180.9	74 W 183.8	75 Re 186.2	76 Os 190.2	77 Ir 192.2	78 Pt 195.1	79 Au 197.0	80 Hg 200.6	81 Tl 204.4	82 Pb 207.2	83 Bi 209.0	84 Po (210)	85 At (210)	86 Rn (222)
	7	87 Fr (223)	88 Ra (226)	89-103 Fr/Ra/...	104 Rf (261)	105 Db (262)	106 Sg (263)	107 Bh (264)	108 Hs (265)	109 Mt (266)	110 Ds (267)	111 Rg (268)	112 Cn (269)	113 Nh (270)	114 Fl (271)	115 Mc (272)	116 Lv (273)	117 Ts (274)	118 Og (284)

() をつけた数は、その元素の代表的な放射性同位体の質量数である (IUPAC)

文部科学省「一家に1枚 元素周期表 (第13版)」より作成

原子は原子核とその周りを回る電子から構成されています。原子核はプラスの電荷を持つ陽子と電荷を持たない中性子で構成されており、原子の化学的性質（元素の種類）は陽子の数（原子番号）で決まります。

例えば炭素は陽子が6個の元素ですが、中性子がそれぞれ5個、6個、7個及び8個の炭素が存在しています。いずれも化学的性質は同じです。

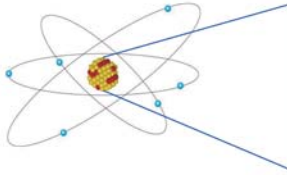
これらの原子を区別して呼ぶ場合は、元素名（同種の原子を包括する呼び名）の後に質量数（陽子と中性子の合計数）を付けて、炭素11、炭素12、炭素13、炭素14と呼びます。炭素の中で、自然界で最も多いのは炭素12です。

炭素14は、宇宙線と大気との衝突で生成された中性子が窒素14に当たり、陽子1個を追い出してできる、自然界に存在する放射性物質です。炭素14の原子核には陽子が6個、中性子が8個ありますが、両者の数のバランスが悪く、エネルギー的に不安定な状態です。

炭素14の中の一つの中性子が陽子になると、陽子も中性子も7個ずつになって安定します。このとき、余分なエネルギーが電子として放出されます。これがβ（ベータ）線の正体です。つまり、炭素14はβ線を出すことで、陽子数が7個の窒素に戻り、エネルギー的に安定した状態になります。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2023年3月31日



原子核
陽子と中性子の数のバランスにより、
不安定な原子核が存在します
= 放射性の原子核

		炭素11	炭素12	炭素13	炭素14	セシウム 133	セシウム 134	セシウム 137
原子核	陽子数	6	6	6	6	55	55	55
	中性子数	5	6	7	8	78	79	82
性質		放射性	安定	安定	放射性	安定	放射性	放射性
記載法		^{11}C	^{12}C	^{13}C	^{14}C	^{133}Cs	^{134}Cs	^{137}Cs
		$^{11}_6\text{C}$	$^{12}_6\text{C}$	$^{13}_6\text{C}$	$^{14}_6\text{C}$	$^{133}_{55}\text{Cs}$	$^{134}_{55}\text{Cs}$	$^{137}_{55}\text{Cs}$
		C-11	C-12	C-13	C-14	Cs-133	Cs-134	Cs-137

同じ原子番号（陽子数）の原子で中性子数が異なる原子核の関係を「同位体」といいます。同位体には放射性壊変を起こして放射線を放出する「放射性同位体」と放射線を出さずに原子量も変わらない「安定同位体」があります。

放射性物質が、不安定な状態を解消するために放出する放射線には、 α （アルファ）線、 β （ベータ）線、 γ （ガンマ）線があります。 α 線と β 線の放出後には、原子の種類が変化しますが、 γ 線が放出されるときには原子の種類は変わりません。どの放射線を出すかは、放射性物質の種類ごとに決まっています（上巻P8「自然由来・人工由来」、上巻P13「放射線はどこで生まれる？」）。

炭素は陽子の数が6個の元素ですが、中性子の数が5個から8個のもの等が存在します。セシウムは陽子の数が55個の元素ですが、中性子の数は57から96個のものまで見つかっています。そのうち安定なもの中性子の数が78個のセシウム133（陽子55個＋中性子78個＝133）だけで、残りは全て放射線を出す放射性物質です。原子力発電所の事故が起こると、ウラン235の核分裂により生成されたセシウム137や、核分裂の生成物に中性子が当たって生成されたセシウム134が環境中に放出されることがあります。これらのセシウムは β 線と γ 線を放出します。

（ページ：上巻P30「原子炉内の生成物」）

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2019年3月31日

放射性物質 様々な原子核

同位体：陽子数（原子番号）が同じで中性子数の異なる原子核

元素	記号	陽子数	同位体	
			安定	放射性
水素	H	1	H-1, H-2*	H-3*
炭素	C	6	C-12, C-13	C-11, C-14, ..
カリウム	K	19	K-39, K-41	K-40, K-42, ..
ストロンチウム	Sr	38	Sr-84, Sr-86, Sr-87, Sr-88	Sr-89, Sr-90, ..
ヨウ素	I	53	I-127	I-125, I-131, ..
セシウム	Cs	55	Cs-133	Cs-134, Cs-137, ..
ウラン	U	92	なし	U-235, U-238, ..
プルトニウム	Pu	94	なし	Pu-238, Pu-239, ..

※：H-2は重水素、H-3は三重水素又はトリチウムと呼ばれます。

・・は、そのほかにも放射性物質があることを意味します。青字は自然に存在する放射性物質

水素原子のほとんどは、原子核が陽子1個のH-1ですが、陽子1個と中性子1個のH-2（重水素）、陽子1個と中性子2個のH-3（トリチウム）も存在します。このうち放射線を出す水素はH-3だけです。

このように放射性の原子核が1種類しかない元素（同種の原子を包括する呼び名）もありますが、複数の種類の放射性の原子核を持つ元素も多くあります。またウランやプルトニウムのように、原子番号の大きい元素では、放射線を出さない安定した原子核を持たないものもあります。

自然界にある放射性物質は、地球誕生のときから存在するものがほとんどですが、炭素14のように宇宙線と大気との相互作用で今でも生成され続けているものもあります。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2015年3月31日

放射性物質 自然由来・人工由来

放射性物質	放出される放射線	半減期
トリウム232 (Th-232)	α, γ	141億年
ウラン238 (U-238)	α, γ	45億年
カリウム40 (K-40)	β, γ	13億年
プルトニウム239 (Pu-239)	α, γ	24,000年
炭素14 (C-14)	β	5,730年
セシウム137 (Cs-137)	β, γ	30年
ストロンチウム90 (Sr-90)	β	29年
トリチウム (H-3)	β	12.3年
セシウム134 (Cs-134)	β, γ	2.1年
ヨウ素131 (I-131)	β, γ	8日
ラドン222 (Rn-222)	α, γ	3.8日

赤字は人工放射性物質 α : α (アルファ) 線、 β : β (ベータ) 線、 γ : γ (ガンマ) 線

トリウム系列のトリウム232、ウラン系列のウラン238、カリウム40のように半減期が長い放射性物質は、遠い昔に宇宙で作られ、地球が誕生するときに地球に取り込まれたものです。

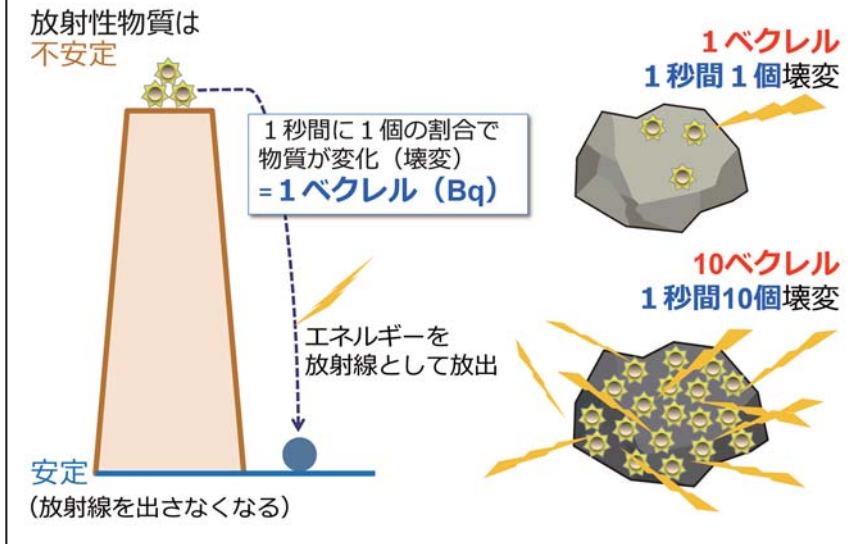
トリウム232は鉛208になるまでに、ウラン238は鉛206になるまでに、いろいろな放射性物質に形を変え、 α (アルファ)線や β (ベータ)線、 γ (ガンマ)線を出します。

炭素14も自然界に存在する放射性物質ですが、宇宙線と大気との衝突で生成された中性子が空気中の78%を占める窒素に当たって生成されたものです。炭素14は β 線を放出して、再び窒素に戻ります。

セシウム134、セシウム137、ストロンチウム90、ヨウ素131、プルトニウム239は、原子力発電所が事故を起こすと環境中に放出されることがあります。人工放射性物質の中にも、プルトニウム239のように、半減期が極めて長いものもあります。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2019年3月31日



放射性物質では、原子核がエネルギー的に不安定な状態にあります。そこで、余分なエネルギーを出して、安定な状態に変わろうとします。このエネルギーを放射線として放出します。

放射能の強さを定量的に表すときに、ベクレルという単位を使います。1ベクレルは「1秒間に1個原子核が変化(壊変)する」量です。原子核が変化する際に放射線を出すことが多いので、ベクレルが放射線を出す能力の単位となっています。例えば、岩石の放射能が1ベクレルであった場合、岩石に含まれている放射性物質の原子核は、1秒間に1個変化することを意味します。10ベクレルであれば、1秒間に10個変化することになります。

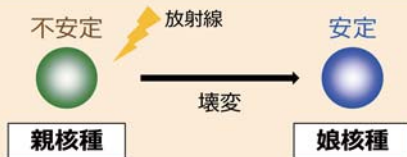
放射性物質の原子核が変化し、放射線を出してエネルギー的に安定になれば、放射線を出さなくなります。放射性物質の中には、安定になるまで原子核の変化を複数回繰り返すものもあります。

(関連ページ：上巻 P10「親核種・娘核種」)

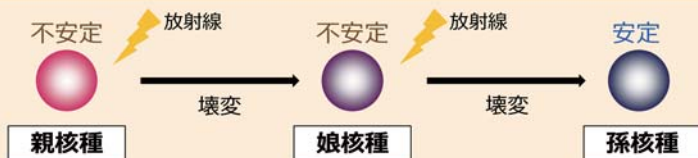
本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2019年3月31日

放射性物質の原子核が1回の壊変により安定な原子核になる場合



放射性物質の原子核が2回の壊変により安定な原子核になる場合



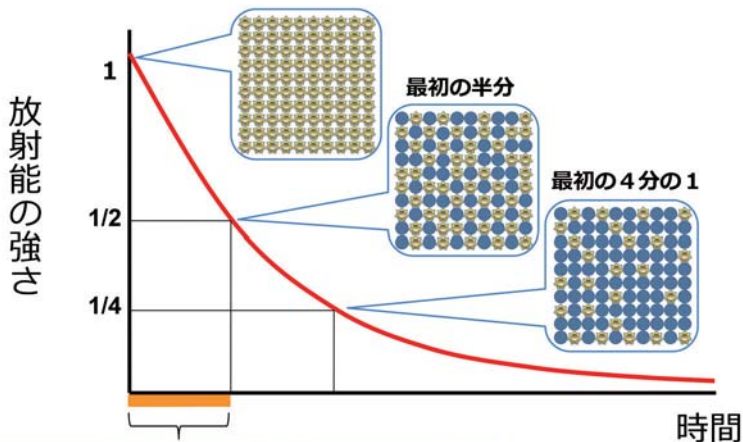
壊変前の核種を「親核種」、壊変後の核種を「娘核種」と呼びます。
娘核種が不安定な核種の場合には、安定になるまで壊変を繰り返します。

陽子や中性子の数によって区分される原子・原子核の種類のことを、核種と呼びます。例えば同じ炭素でも炭素12と炭素14は異なる核種であり、炭素14はエネルギー的に不安定なため放射性的核種です。

放射性核種が放射線を出して異なる核種へ変化することを、壊変と呼びます。このとき壊変前の核種、壊変後の核種はそれぞれ親核種、娘核種と呼ばれます。

放射性物質によっては、壊変後も原子核がエネルギー的に不安定な場合があり、これは放射性核種から別の放射性核種へ変化したことを意味します。このような核種は、壊変を繰り返すことでエネルギー的に安定な核種へと変化します。娘核種が壊変した核種を（親核種から見て）孫核種と呼ぶことがあり、娘核種と併せて子孫核種と呼びます。

本資料への収録日：2018年2月28日



放射性物質の量が半分になる時間
= (物理学的) 半減期

放射線を出すことでエネルギー的に安定な状態となった物質は放射線を出しません。時間がたてば放射性物質の量が減り、放射能も弱まります。こうして放射能が弱まり、はじめの半分になるまでの時間を(物理学的)半減期と呼びます。

半減期分の時間が経過するたびに放射能が半分となるため、半減期の2倍の時間が経過すると、最初の状態の4分の1に減ることになります。横軸を経過時間、縦軸を放射能の強さとしてグラフに表すとスライドのような曲線になる(指数関数的に減る)ことが分かります。

半減期は放射性物質の種類によって異なります。例えばヨウ素131の半減期は約8日、セシウム134の半減期は約2年、セシウム137の半減期は約30年です。

なお、体内に取り込まれた放射性物質は、臓器や組織に取り込まれた後、排泄されます。排泄によって体内の放射性物質の量が半分になる時間を生物学的半減期といいます(上巻P27「内部被ばくと放射性物質」)。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2019年3月31日

例 地球誕生以前から存在し、地球が誕生したときに取り込まれた放射性物質



系列 放射性の原子核から安定な原子核になるまで、次々に核種が変化しながら壊変する

- ・ウラン238 半減期：45億年
- ・トリウム232
- ・ウラン235

非系列 放射性の原子核から直接安定な原子核に壊変する

- ・カリウム40 半減期：13億年
- ・ルビジウム87 等

放射線を出す原子核の中には、大変長い半減期を持つものがあります。ウラン238の半減期は45億年です。地球の年齢は約46億年といわれていますので、地球が生まれたときに存在したウラン238は今ようやく半分になったところです。

放射性物質の中には、1回放射線を出して安定になるものもありますが、安定な物質になるまでに複数回壊変して、いろいろな放射性物質に変化するものもあります。

例えば、ウラン238は α （アルファ）線を放出してトリウム234に変わりますが、これも放射性物質です。トリウム234はさらに β （ベータ）線を放出し、やはり放射性物質のプロトアクチニウム234に変化します。安定な鉛206になるまでに10数回も異なる原子に変化する系列をなしています。

カリウム40も、半減期が13億年と長く、地球が誕生したときに地球に取り込まれた自然起源の放射性物質です。カリウム40は系列を作らず、1回の壊変で安定なカルシウム40またはアルゴン40になります。

（関連ページ：上巻 P10「親核種・娘核種」、上巻 P11「半減期と放射能の減衰」）

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2019年3月31日