

# 第 1 章

放射線の基礎知識と健康影響

## はじめに 放射線・放射能・放射性物質とは

- 電球 = 光を出す能力を持つ

ワット (W)

▶ 光の強さの単位



ルクス (lx)

▶ 明るさの単位

- 放射性物質 = 放射線を出す能力 (放射能) を持つ

ベクレル (Bq)

▶ 放射能の単位



放射線

換算係数



シーベルト (Sv)

▶ 人が受ける放射線被ばく線量の単位

※ シーベルトは放射線影響に関係付けられる。

放射線、放射能、放射性物質について整理してみます。

どこの家にもある電球は光 (明かり) を出す能力があります。その能力を「ワット」という単位で表します。その光を人は受け取り、明るさとして感じます。その時の単位が「ルクス」です。

よく耳にするベクレルとシーベルトという放射線に関する単位もこの関係に似ています。例えば、岩石などが放射線を出すとき、この岩石を「放射性物質」といいます。放射性物質は放射線を出しますが、その能力を「放射能」といいます。「この岩石は放射能を持っている」、「この岩石は放射線を出す」という表現を用います。この岩石の持っている放射線を出す能力の大きさを「ベクレル (Bq)」という単位で表します。その受けた放射線で、どれ位の影響を受けるかを知る際に必要な放射線被ばく線量の単位として、「シーベルト (Sv)」が使われます。「Bq」から「Sv」を求めるためには特有の換算係数があります。

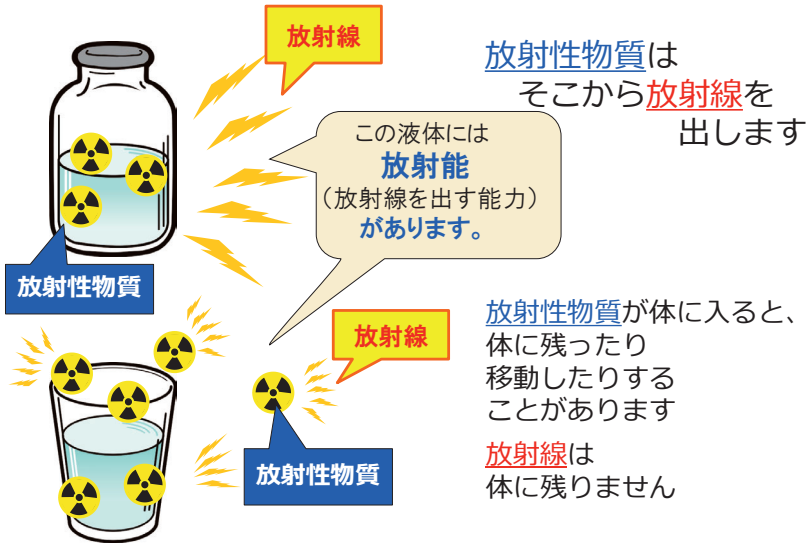
放射能 (ベクレルで表した数値) が大きいほど、放射性物質からたくさんの放射線が出ていることを意味しますが、被ばく量 (シーベルトで表した数値) は放射性物質と被ばくする人の位置関係によって変わります。放射線の強さは、放射線を出しているものから近ければ強く、遠ければ弱くなります。明るい電球であっても、離れた所では暗いのと同じです。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2015年3月31日

はじめに

## 放射線と放射性物質の違い



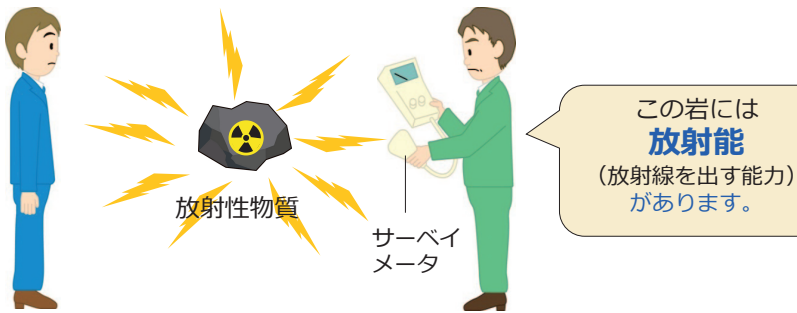
放射性物質とは放射線を出す物質のことです。例えば、「この水は放射性物質を含んでいる」といいます。放射能という言葉は、放射性物質と同じ意味に使われることもありますが、自然科学分野では放射線を出す能力の意味に使います。

密封された容器に放射性物質を含んだ水が入っていた場合、容器から放射線は出てきますが、放射性物質は出てきません。もしふたのない状態で放射性物質の入った水が置かれていたら、こぼれるなどして放射性物質が広がっていく可能性があります。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2015年3月31日

## はじめに 放射線と放射能の単位



### ベクレル (Bq)

放射能の強さの単位：  
1秒間に1個の割合で原子核が変化する  
(壊変する) = 1ベクレル

### シーベルト (Sv)

人が受ける放射線被ばく線量の単位：  
放射線影響に関係付けられる

放射線は目に見えず、においもないため、人間が五感で感じることはできません。しかし、測定することが比較的容易という特徴があります。

最近よく見聞きする「ベクレル」や「シーベルト」は放射線に関する単位です。例えば、専用の測定器を使って土壌や食品の放射能を測れば、どんな放射性物質がどれだけ含まれているかを知ることができます。ベクレルというのはこうした放射能の強さを表す単位です。シーベルトというのは、人体への影響の大きさを表す単位です(詳しくは「6. 放射線の単位」を参照)。

放射性物質が多くあるところはどこなのか、手で持ち運びができるサーベイメータという機械を使って特定することができます。また物質が出す放射線の強さや種類も、人間が受ける放射線の大きさも、サーベイメータで調べることができます。

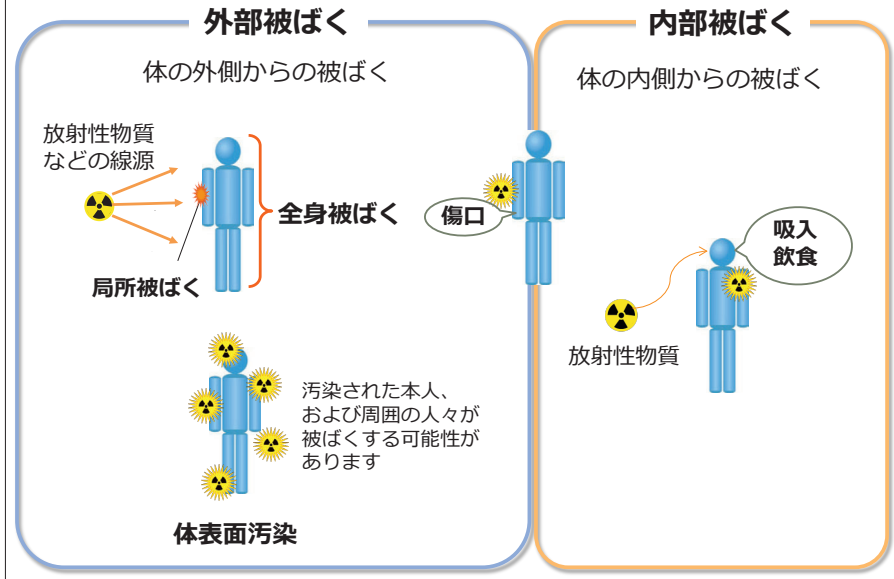
さらに、さまざまな調査研究の結果から、事故の影響を受けている放射線と自然から受けている放射線のそれぞれの量や合計量も知ることができます。

このように放射線の測定が容易であることを利用し、放射線の管理や防護が考えられています。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2015年3月31日

## はじめに 被ばくの種類



放射性物質から放射線を受ける事を放射線被ばくといいます。一方、放射能汚染とは、放射性物質の存在によって物（人も含めて）や場所が汚染されることです。つまり、放射能汚染は通常存在しない場所に放射性物質が存在することを示すものです。

体の外にある放射性物質から、放射線を受けることを外部被ばくと呼びます。

空气中に飛散した放射性物質を空気とともに吸い込んだり、汚染された飲食物を取り込んだりすると、体の中から放射線を受けることになります。また傷口からも放射性物質が体の中に入ることがあります。この状況を内部被ばくと呼びます。

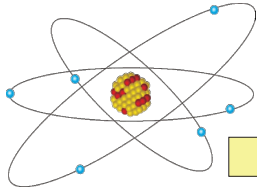
放射線の種類によって、空気中や体の中での通りやすさが異なるため、外部被ばくと内部被ばくでは、問題になる放射線の種類（ $\alpha$ （アルファ）線、 $\beta$ （ベータ）線、 $\gamma$ （ガンマ）線：詳しくは「3. 放射線」を参照）や放射性物質（核種）が異なります。

また、放射性物質が体の表面に付いた状態を体表面汚染と呼びます。この場合、汚染した本人も被ばくをしますが、周囲の人々が二次的に汚染し、被ばくする可能性もあります。体表面に付着した、放射性物質が鼻・口・傷口から侵入すれば体内汚染となり内部被ばくの原因にもなります。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2015年3月31日

## 原子の構造と周期律



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 39.1	20 Ca 40.08	21 Sc 44.96	22 Ti 47.88	23 V 50.94	24 Cr 52	25 Mn 54.94	26 Fe 55.85	27 Co 58.93	28 Ni 58.69	29 Cu 63.55	30 Zn 65.39	31 Ga 69.72	32 Ge 72.61	33 As 74.92	34 Se 78.95	35 Br 79.9	36 Kr 83.8				
	5	37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.94	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	55 Cs 132.9	56 Ba 137.3	57 La 138.9	58 Ce 140.9	59 Pr 140.9	60 Nd 144.2	61 Pm (145)	62 Sm 150.4	63 Eu 152.0	64 Gd 157.3	65 Tb 158.9	66 Dy 162.5	67 Ho 164.9	68 Er 167.3	69 Tm 168.9	70 Yb 173.0	71 Lu 175.0					
	7	87 Fr (223)	88 Ra (226)	89 Ac (227)	90 Th 232.0	91 Pa 231.0	92 U 238.0	93 Np (237)	94 Pu (239)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (252)	99 Es (252)	100 Fm (257)	101 Md (258)	102 No (259)	103 Lr (260)					

( )をつけた値は、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 「一家に一枚周期表第6版」

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。

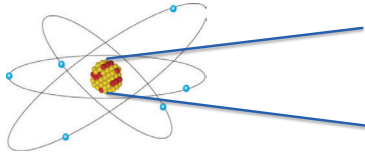
例えば炭素は陽子が6個の元素ですが、中性子がそれぞれ5個、6個、7個及び、8個の炭素が存在しています。いずれも化学的性質は同じです。

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）のあとに質量数（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、窒素14に宇宙線の一つである中性子が当たり、陽子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になります。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2015年3月31日



## 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		$^{11}\text{C}$	$^{12}\text{C}$	$^{13}\text{C}$	$^{14}\text{C}$	$^{133}\text{Cs}$	$^{134}\text{Cs}$	$^{137}\text{Cs}$
		$^{11}_{6}\text{C}$	$^{12}_{6}\text{C}$	$^{13}_{6}\text{C}$	$^{14}_{6}\text{C}$	$^{133}_{55}\text{Cs}$	$^{134}_{55}\text{Cs}$	$^{137}_{55}\text{Cs}$
		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、 $\alpha$ （アルファ）線、 $\beta$ （ベータ）線、 $\gamma$ （ガンマ）線があります。 $\alpha$ 線と $\beta$ 線の放出後には、原子の種類が変化しますが、 $\gamma$ 線が放出される時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（詳しくは、「3. 放射線」を参照）。

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個のものなどが存在します。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は中性子の数が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、セシウム134やセシウム137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 $\beta$ 線と $\gamma$ 線を放出します。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2014年3月31日

：2015年3月31日

## 放射性物質

## さまざまな原子核

陽子数（原子番号）は同じで中性子数の異なる原子核（同位体）

元素	記号	陽子数	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-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は三重水素または、トリチウムと呼ばれます。

・・は、その他にも放射性物質があることを意味する。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、地球誕生の時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	放出される放射線	半減期
トリウム系列	$\alpha, \beta, \gamma$	141億年
ウラン系列	$\alpha, \beta, \gamma$	45億年
カリウム40 (K-40)	$\beta, \gamma$	13億年
プルトニウム239 (Pu-239)	$\alpha, \gamma$	24,000年
炭素14 (C-14)	$\beta$	5,730年
セシウム137 (Cs-137)	$\beta, \gamma$	30年
ストロンチウム90 (Sr-90)	$\beta$	29年
セシウム134 (Cs-134)	$\beta, \gamma$	2.1年
ヨウ素131 (I-131)	$\beta, \gamma$	8日
ラドン222 (Rn-222)	$\alpha, \gamma$	3.8日

赤字は人工放射性物質       $\alpha$  :  $\alpha$  (アルファ) 線、 $\beta$  :  $\beta$  (ベータ) 線、 $\gamma$  :  $\gamma$  (ガンマ) 線

トリウム 232、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、地球が誕生する時に地球に取り込まれたものです。

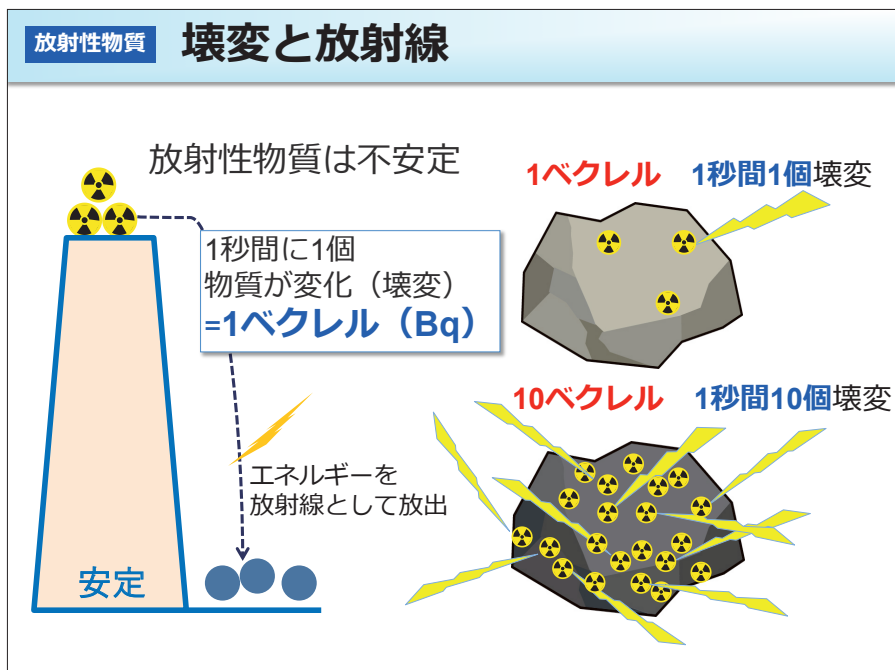
トリウム 232 は鉛 208 になるまでに、ウラン 238 は鉛 206 になるまでに、いろいろな放射性物質に形を変え、 $\alpha$  (アルファ) 線や $\beta$  (ベータ) 線、 $\gamma$  (ガンマ) 線を出します。

炭素 14 も自然界に存在する放射性物質ですが、空気中の 80% を占める窒素に宇宙線である中性子線が当たって生成されたものです。炭素 14 は $\beta$  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：2015 年 3 月 31 日



放射性物質は、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。

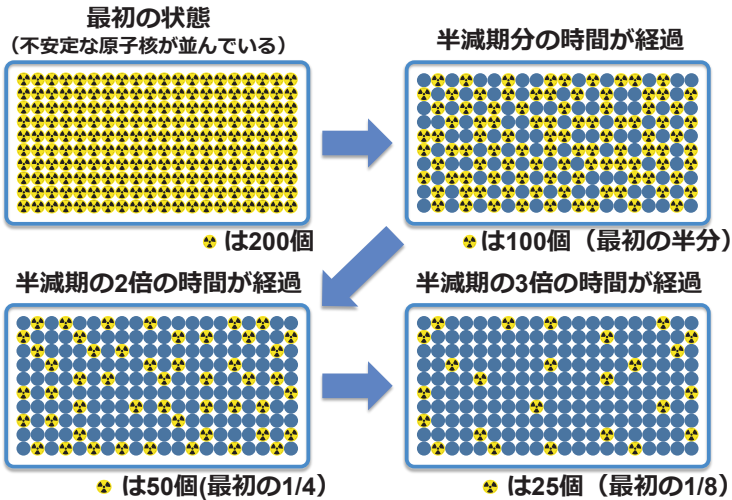
放射線の強さを定量的に表す時に、ベクレルという単位を使います。1ベクレルは「1秒間に1個原子核が変化(壊変)する」量です。原子核が変化する際に放射線を出すことが多いので、ベクレルが放射線を出す能力の単位となっています。例えば岩石の放射能が1ベクレルであった場合、岩石に含まれている放射性物質の原子核は、1秒間に1個変化することを意味します。10ベクレルであれば、1秒間に10個変化することになります。

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、もう放射線を出さなくなります。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2015年3月31日

## 放射線を出す能力（放射能）の減り方



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もう放射線は出しません。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のことを半減期と呼びます。放射性物質の減り方と半減期の関係を絵で見てみます。

もともと 200 個の放射性物質があったとします。半減期分の時間が経過する間に、約 100 個の放射性物質は放射線を出し、別の物質に変化します。残り約 100 個は放射性物質のままです。

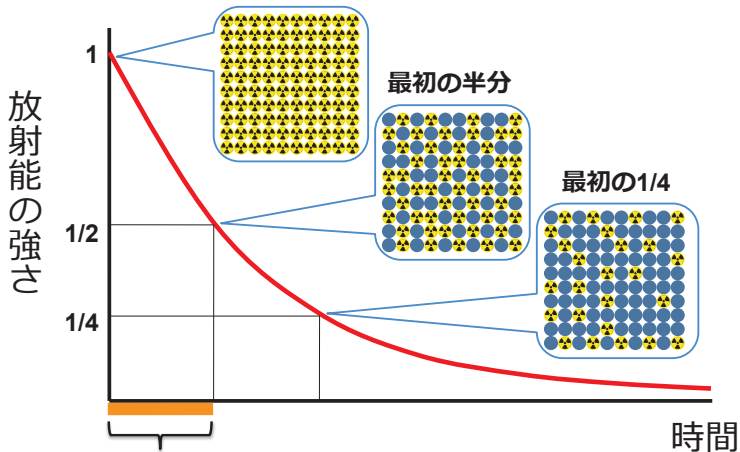
次に、半減期の 2 倍の時間が経過する間に残りの約 100 個の放射性物質のうち約 50 個は放射線を出し、別の物質になります。結果的に放射性物質は約 50 個 (元の約 4 分の 1) までに減ります。さらに半減期の 3 倍の時間が経過した時点で、放射性物質の量は元々の約 8 分の 1 に減少します。

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

## 半減期と放射能の減衰



放射性物質の量が半分になる時間  
= (物理学的) 半減期

放射能の減り方と半減期の関係をグラフで見えます。

半減期分の時間が経過すると、放射性物質の量は元の半分になり、結果として放射能も半分になります。さらにもう半減期分の時間が経過すると、さらに放射性物質の量が半分になります。このように、半減期分の時間が経過するごとに、放射能は  $1 \rightarrow 2$  分の  $1 \rightarrow 4$  分の  $1 \rightarrow 8$  分の  $1 \rightarrow 16$  分の  $1$  と減っていきます。横軸に経過時間、縦軸を放射能の強さにして、放射能の減り方をグラフに表すと、曲線（指数関数）的に減ることがわかります。

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 8 日、セシウム 134 の半減期は 2 年、セシウム 137 の半減期は 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。

本資料への収録日：2013 年 3 月 31 日

改訂日：2015 年 3 月 31 日

## 例 宇宙の誕生と共に放射性物質が存在し、地球が生まれた時に取り込まれた放射性物質

地球誕生から  
46億年



**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、地球が生まれた時に存在したウラン 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、最終的に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  $\alpha$  (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  $\beta$  (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、地球が誕生した時に地球に取り込まれた自然起源の放射性物質です。しかし、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 になります。

本資料への収録日：2013 年 3 月 31 日

改訂日：2015 年 3 月 31 日