

18

原子力基礎データ（略語、元素周期表、諸単位など）

18-03

原子核の性質

18-03-01

壊変系列図、主な放射性核種の半減期

18-03-01-01

壊変系列図、主な放射性核種の半減期

<概要>

天然放射性核種の4つの壊変系列及び主な放射性核種の半減期と壊変形式を示す。

<更新年月>

2010年09月 （本データは原則として更新対象外とします。）

<本文>

天然放射性核種の4つの壊変系列（ウラン、アクチニウム、トリウム、ネプツニウム系列）を図1-1、図1-2、図1-3および図1-4に、また、現在知られている放射性同位体のうち、主なもの約270種類を選び、半減期と壊変形式を表1-1、表1-2、表1-3、表1-4および表1-5に示した。

<参考文献>

- (1) 国立天文台（編）：理科年表 2010年版、丸善（2009年10月）
 - (2) 物理学辞典編集委員会（編）：物理学辞典 改訂版、培風館（1992）
 - (3) R.B.Firestone and V.S.Shirley(ed)：Table of Isotopes eighth edition, John Wiley and Sons, Inc.（1996）
 - (4) 村上悠紀雄ほか（編）：放射線データブック、地人書館（1992年4月）
-

表1-1 主な放射性核種の半減期と壊変形式(1/5)

核種	半減期	壊変形式	核種	半減期	壊変形式
^3H	12.33y	β^-	$^{44\text{m}}\text{Sc}$	58.6h	IT
^7Be	53.29d	EC			EC
^{11}C	20.39m	β^+	^{44}Sc	3.927h	β^+
		EC			EC
^{14}C	$5.73 \times 10^3\text{y}$	β^-	^{46}Sc	83.79h	β^-
^{13}N	9.965m	β^+, EC	^{47}Sc	3.345d	β^-
^{16}N	7.13 s	β^-	^{49}Sc	57.2m	β^-
^{16}N	4.16 s	β^-	^{44}Ti	49y	EC
^{15}O	122.24s	β^+	^{51}Ti	5.76m	β^-
		EC	^{48}V	15.9735d	EC
^{19}O	26.9 s	β^-			
^{18}F	109.77m	β^+	^{49}V	330d	EC
		EC	^{52}V	3.75m	β^-
^{22}Na	2.6019y	β^+	^{51}Cr	27.702d	EC
		EC	$^{52\text{m}}\text{Mn}$	21.1m	β^+
^{24}Na	14.959h	β^-			EC
^{27}Mg	9.458m	β^-			IT
^{28}Mg	20.9h	β^-	^{52}Mn	5.591d	EC
^{26}Al	$7.4 \times 10^5\text{y}$	β^+			β^+
		EC	^{54}Mn	312.3d	EC, β^+
^{28}Al	2.2414m	β^-	^{56}Mn	2.5785h	β^-
^{31}Si	157.3m	β^-	^{52}Fe	8.275h	β^+
^{30}P	2.498m	β^+, EC			EC
^{32}P	14.262d	β^-	^{55}Fe	2.73y	EC
^{33}P	25.3d	β^-	^{59}Fe	44.503d	β^-
^{35}S	87.51d	β^-	^{56}Co	77.27d	EC
^{36}Cl	$3.01 \times 10^5\text{y}$	β^-, β^+			β^+
		EC	^{57}Co	271.79d	EC
^{38}Cl	37.24m	β^-	^{58}Co	70.82d	EC
^{37}Ar	35.04d	EC			β^+
^{41}Ar	109.34m	β^-	$^{60\text{m}}\text{Co}$	10.47m	IT
^{40}K	$1.277 \times 10^9\text{y}$	β^-			β^-
		EC	^{60}Co	5.2714y	β^-
^{42}K	12.36h	β^-	^{63}Ni	100.1y	β^-
^{43}K	22.3h	β^-	^{65}Ni	2.5172h	β^-
^{45}Ca	163.8d	β^-	^{62}Cu	9.74m	β^+
^{47}Ca	4.536d	β^-			EC

核種の元素記号の左肩の数字は質量数、m、m₁は準安定状態を示す。また半減期および壊変形式の項の記号は次のとおりである。

y: 年, d: 日, h: 時, m: 分, s: 秒, α : α 壊変, β^- : β^- 壊変, β^+ : β^+ 壊変,

EC: 軌道電子捕獲, IT: 核異性体転移, SF: 自発核分裂

[出典] 国立天文台(編):理科年表 2010年版, 丸善(2009年10月), p.461-466

村上悠紀雄ほか(編):放射線データブック、地人書館(1982年4月)

表1-2 主な放射性核種の半減期と壊変形式(2/5)

核種	半減期	壊変形式	核種	半減期	壊変形式
^{64}Cu	12.70h	$\left\{ \begin{array}{l} \text{EC} \\ \beta^+ \\ \beta^- \end{array} \right.$	^{80}Br	17.68m	$\left\{ \begin{array}{l} \beta^- \\ \text{EC} \\ \beta^+ \end{array} \right.$
^{66}Cu	5.088m	β^-	^{82}Br	35.30h	β^-
^{67}Cu	61.83h	β^-	^{79}Kr	35.04h	$\left\{ \begin{array}{l} \text{EC} \\ \beta^+ \end{array} \right.$
^{65}Zn	244d	$\left\{ \begin{array}{l} \text{EC} \\ \beta^+ \end{array} \right.$	$^{81\text{m}}\text{Kr}$	13.10s	IT, EC
$^{69\text{m}}\text{Zn}$	13.76h	IT, β^-	$^{83\text{m}}\text{Kr}$	1.83h	IT
^{69}Zn	56.4m	β^-	$^{85\text{m}}\text{Kr}$	4.48h	$\left\{ \begin{array}{l} \beta^- \\ \text{IT} \end{array} \right.$
^{66}Ga	9.49h	$\left\{ \begin{array}{l} \beta^+ \\ \text{EC} \end{array} \right.$	^{85}Kr	10.756y	β^-
^{67}Ga	3.2612d	EC	^{81}Rb	4.576h	$\left\{ \begin{array}{l} \text{EC} \\ \beta^+ \end{array} \right.$
^{68}Ga	67.629m	$\left\{ \begin{array}{l} \beta^+ \\ \text{EC} \end{array} \right.$	^{82}Rb	1.273m	$\left\{ \begin{array}{l} \beta^+ \\ \text{EC} \end{array} \right.$
^{70}Ga	21.14m	$\left\{ \begin{array}{l} \beta^- \\ \text{EC} \end{array} \right.$	^{83}Rb	86.2d	EC
^{72}Ga	14.10h	β^-	^{84}Rb	32.77d	$\left\{ \begin{array}{l} \text{EC} \\ \beta^+ \\ \beta^- \end{array} \right.$
^{68}Ge	270.82d	EC	^{86}Rb	18.631d	β^-, EC
^{71}Ge	11.43d	EC	^{87}Rb	$4.75 \times 10^{10}\text{y}$	β^-
^{75}Ge	82.78m	β^-	^{88}Rb	17.78m	β^-
^{77}Ge	11.30h	β^-	^{82}Sr	25.55d	EC
^{72}As	26.0h	$\left\{ \begin{array}{l} \beta^+ \\ \text{EC} \end{array} \right.$	^{85}Sr	64.84d	EC
^{73}As	80.3d	EC	$^{87\text{m}}\text{Sr}$	2.803h	$\left\{ \begin{array}{l} \text{IT} \\ \text{EC} \end{array} \right.$
^{74}As	17.77d	$\left\{ \begin{array}{l} \text{EC} \\ \beta^+ \\ \beta^- \end{array} \right.$	^{89}Sr	50.53d	β^-
^{76}As	26.32h	β^-	^{90}Sr	28.78y	β^-
^{77}As	38.83h	β^-	^{87}Y	79.8h	$\left\{ \begin{array}{l} \text{EC} \\ \beta^+ \end{array} \right.$
^{72}Se	8.4d	EC	^{88}Y	106.65d	$\left\{ \begin{array}{l} \text{EC} \\ \beta^+ \end{array} \right.$
^{75}Se	119.779d	EC	^{90}Y	64.1h	β^-
$^{77\text{m}}\text{Se}$	17.36s	IT	^{91}Y	58.51h	β^-
^{77}Br	57.036h	$\left\{ \begin{array}{l} \text{EC} \\ \beta^+ \end{array} \right.$	^{95}Zr	64.02d	β^-
$^{80\text{m}}\text{Br}$	4.4205h	IT			

核種の元素記号の左肩の数字は質量数、m、 m_1 は準安定状態を示す。また半減期および壊変形式の項の記号は次のとおりである。

y: 年, d: 日, h: 時, m: 分, s: 秒, α : α 壊変, β^- : β^- 壊変, β^+ : β^+ 壊変,

EC: 軌道電子捕獲, IT: 核異性体転移, SF: 自発核分裂

表1-3 主な放射性核種の半減期と壊変形式(3/5)

核種	半減期	壊変形式	核種	半減期	壊変形式
^{97}Zr	16.91h	β^-	^{114}In	71.9s	β^-, β^+
^{90}Nb	14.60h	β^+			EC
		EC	$^{115\text{m}}\text{In}$	4.486h	IT
$^{95\text{m}}\text{Nb}$	86.6h	IT			β^-
		β^-	$^{116\text{m1}}\text{In}$	54.41m	β^-
^{95}Nb	34.975d	β^-	$^{117\text{m}}\text{In}$	116.2m	β^-
$^{97\text{m}}\text{Nb}$	52.7s	IT			IT
^{97}Nb	72.1m	β^-	^{117}In	43.2m	β^-
^{99}Mo	65.94h	β^-	^{113}Sn	115.09d	EC, β^+
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.01h	IT	$^{119\text{m}}\text{Sn}$	293.1d	IT
		β^-	^{121}Sn	27.06h	β^-
^{99}Tc	$2.111 \times 10^5 \text{y}$	β^-	$^{123\text{m}}\text{Sn}$	40.04m	β^-
^{103}Ru	39.26d	β^-	^{123}Sn	129.2d	β^-
^{105}Ru	4.44h	β^-	^{122}Sb	2.70d	β^-, β^+
^{106}Ru	373.59d	β^-			EC
$^{103\text{m}}\text{Rh}$	56.12m	IT	^{124}Sb	60.20d	β^-
$^{105\text{m}}\text{Rh}$	45s	IT	^{125}Sb	2.7582y	β^-
^{105}Rh	35.36h	β^-	$^{125\text{m}}\text{Te}$	57.40d	IT
^{106}Rh	29.8s	β^-	$^{127\text{m}}\text{Te}$	109d	IT
^{103}Pd	16.991d	EC			β^-
^{109}Pd	13.7012h	β^-	^{127}Te	9.35h	β^-
^{105}Ag	41.29d	EC, β^+	$^{129\text{m}}\text{Te}$	33.6d	IT
$^{109\text{m}}\text{Ag}$	39.6s	IT			β^-
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	249.79d	β^-	^{129}Te	69.6m	β^-
		IT	^{132}Te	3.204d	β^-
^{110}Ag	24.6s	β^-	^{121}I	2.12h	EC
		EC			β^+
^{111}Ag	7.45d	β^-	^{123}I	13.27h	EC
^{109}Cd	462.6d	EC	^{124}I	4.18d	EC
$^{115\text{m}}\text{Cd}$	44.6d	β^-			β^+
^{115}Cd	53.46h	β^-	^{125}I	59.408d	EC
$^{117\text{m}}\text{Cd}$	3.36h	β^-	^{126}I	13.11d	EC
^{111}In	2.8049d	EC			β^+
$^{113\text{m}}\text{In}$	1.6582h	IT			β^-
$^{114\text{m}}\text{In}$	49.51d	IT	^{128}I	24.99m	β^-, β^+
		EC, β^+			EC

核種の元素記号の左肩の数字は質量数、m、m₁は準安定状態を示す。また半減期および壊変形式の項の記号は次のとおりである。

y: 年, d: 日, h: 時, m: 分, s: 秒, α : α 壊変, β^- : β^- 壊変, β^+ : β^+ 壊変,

EC: 軌道電子捕獲, IT: 核異性体転移, SF: 自発核分裂

表1-4 主な放射性核種の半減期と壊変形式(4/5)

核種	半減期	壊変形式	核種	半減期	壊変形式
^{129}I	$1.57 \times 10^7 \text{y}$	β^-	^{147}Pm	2.6234y	β^-
^{130}I	12.36h	β^-	^{149}Pm	53.08h	β^-
^{131}I	8.02070d	β^-	^{151}Pm	28.40h	β^-
^{132}I	2.295h	β^-	^{153}Sm	46.27h	β^-
^{133}I	20.8h	β^-	$^{152\text{m1}}\text{Eu}$	9.274h	β^- , β^+
$^{131\text{m}}\text{Xe}$	11.84d	IT	^{152}Eu	13.542y	EC
$^{133\text{m}}\text{Xe}$	2.19d	IT			EC
^{133}Xe	5.243d	β^-			β^-
^{129}Cs	32.06h	EC	^{154}Eu	8.593y	β^- , β^+ , EC
^{130}Cs	29.21m	β^-	^{155}Eu	4.7611y	β^- , β^+
^{131}Cs	9.689d	EC	^{153}Gd	241.6d	EC
		β^+	^{159}Gd	18.749h	β^-
		β^-	^{160}Tb	72.3d	β^-
^{132}Cs	6.479d	EC	^{161}Tb	6.88d	β^-
$^{134\text{m}}\text{Cs}$	2.91h	β^+	^{157}Dy	8.14h	EC
		β^-	^{165}Dy	2.334h	β^-
		IT	^{166}Ho	26.83h	β^-
^{134}Cs	2.062y	β^-	^{169}Er	9.40d	β^-
^{137}Cs	30.07y	β^-	^{171}Er	7.516h	β^-
^{131}Ba	11.50d	EC	^{170}Tm	128.6d	β^-
$^{133\text{m}}\text{Ba}$	38.9h	IT	^{169}Yb	32.026d	EC
^{133}Ba	10.52y	EC			EC
$^{137\text{m}}\text{Ba}$	2.552m	IT	^{175}Yb	4.185d	β^-
^{139}Ba	83.06m	β^-	^{177}Yb	1.911h	β^-
^{140}Ba	12.752d	β^-	$^{176\text{m}}\text{Lu}$	3.635h	β^- , EC
^{140}La	1.6781d	β^-	^{177}Lu	6.734d	β^-
^{139}Ce	137.640d	EC	^{175}Hf	70d	EC
^{141}Ce	32.501d	β^-	$^{180\text{m}}\text{Hf}$	5.5h	IT, β^-
^{143}Ce	33.039h	β^-	^{181}Hf	42.39d	β^-
^{144}Ce	284.893d	β^-	^{182}Ta	114.43d	β^-
^{142}Pr	19.12h	β^- , EC	^{181}W	121.2d	EC
^{143}Pr	13.57d	β^-	^{185}W	75.1d	β^-
$^{144\text{m}}\text{Pr}$	7.2m	IT, β^-	^{187}W	23.72h	β^-
^{144}Pr	17.28m	β^-	^{183}Re	70.0d	EC
^{147}Nd	10.98d	β^-	^{186}Re	90.64h	β^-
^{149}Nd	1.728h	β^-			EC

核種の元素記号の左肩の数字は質量数、m、m₁は準安定状態を示す。また半減期および壊変形式の項の記号は次のとおりである。

y: 年, d: 日, h: 時, m: 分, s: 秒, α : α 壊変, β^- : β^- 壊変, β^+ : β^+ 壊変,

EC: 軌道電子捕獲, IT: 核異性体転移, SF: 自発核分裂

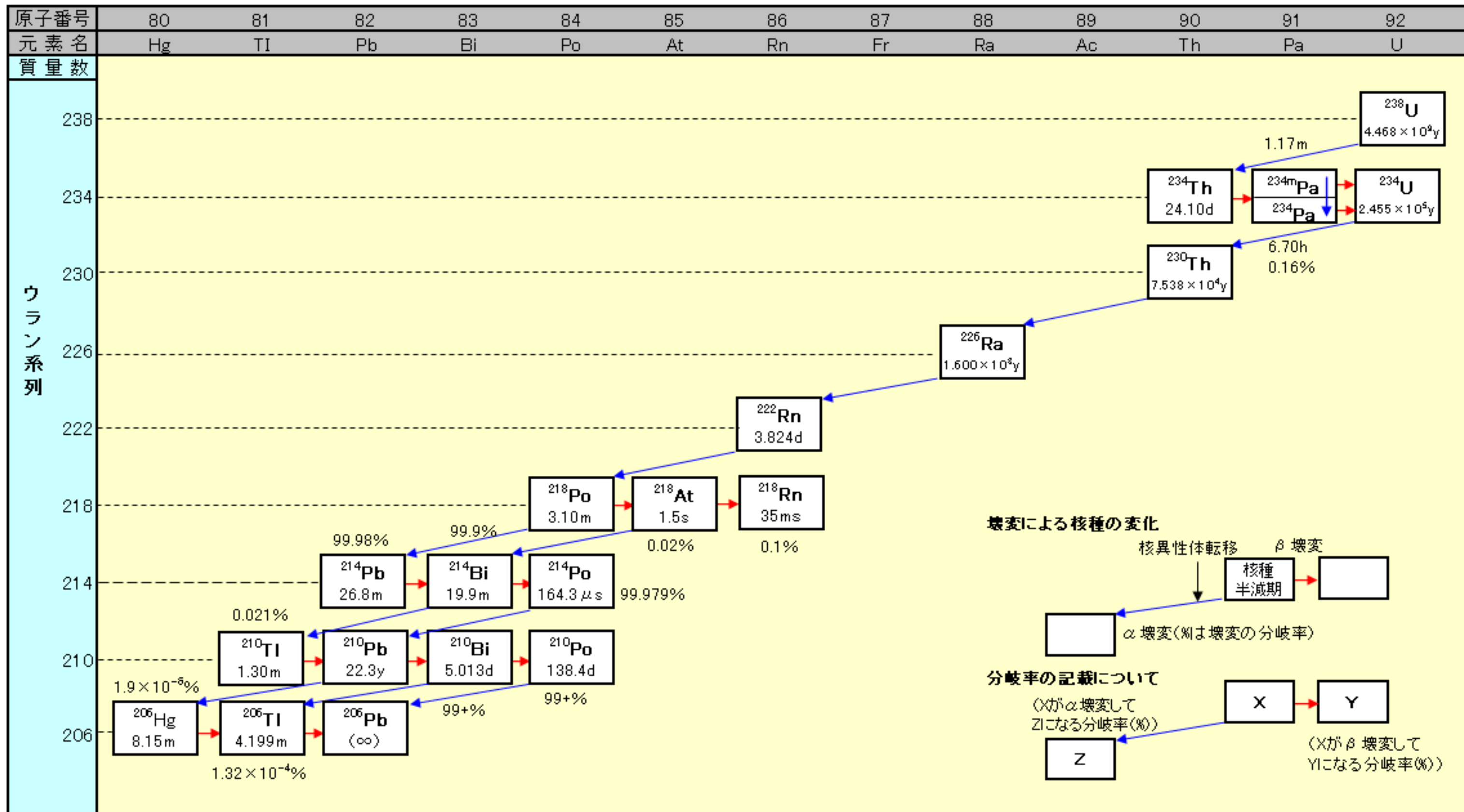
表1-5 主な放射性核種の半減期と壊変形式(5/5)

核種	半減期	壊変形式	核種	半減期	壊変形式
^{188}Re	16.98h	β^-	^{227}Ac	21.773y	β^-
^{185}Os	93.6d	EC			α
$^{191\text{m}}\text{Os}$	13.10h	IT	^{228}Th	1.9116y	α
^{191}Os	15.4d	β^-	^{231}Th	25.52h	β^-
^{193}Os	30.5h	β^-	^{232}Th	$1.405 \times 10^{10}\text{y}$	α
$^{191\text{m}}\text{Ir}$	4.94s	IT	^{233}Th	22.3m	β^-
^{192}Ir	73.831d	β^-	^{231}Pa	$3.276 \times 10^4\text{y}$	α
		EC	^{233}Pa	26.967d	β^-
^{194}Ir	19.15h	β^-	^{232}U	68.9y	α
^{197}Pt	18.3h	β^-	^{233}U	$1.592 \times 10^5\text{y}$	α, SF
^{199}Pt	30.8m	β^-	^{235}U	$7.038 \times 10^8\text{y}$	α, SF
^{195}Au	186.09d	EC	^{237}U	6.75d	β^-
$^{197\text{m}}\text{Au}$	7.73s	IT	^{238}U	$4.468 \times 10^9\text{y}$	α, SF
^{198}Au	2.69517d	β^-	^{239}U	23.45m	β^-
^{199}Au	3.139d	β^-	^{239}Np	2.3565d	β^-
$^{197\text{m}}\text{Hg}$	23.8h	IT	^{238}Pu	87.7y	α, SF
		EC	^{239}Pu	$2.411 \times 10^4\text{y}$	α, SF
^{197}Hg	64.14h	EC	^{240}Pu	$6.563 \times 10^3\text{y}$	α, SF
^{203}Hg	46.612d	β^-	^{241}Am	432.2y	α, SF
^{201}Tl	72.912h	EC	^{242}Am	16.02h	β^-
^{204}Tl	3.78y	β^-, β^+			EC
		EC	^{242}Cm	162.8d	α, SF
$^{207\text{m}}\text{Pb}$	0.805s	IT	^{244}Cm	18.10y	α, SF
^{210}Pb	22.3y	β^-	^{247}Bk	$1.38 \times 10^3\text{y}$	α
		α	^{252}Cf	2.645y	α
^{206}Bi	6.243d	EC, β^+			SF
^{207}Bi	31.55y	EC, β^+			
^{210}Bi	5.013d	β^-			
		α			
^{208}Po	2.898y	$\alpha, \text{EC}, \beta^+$			
^{210}Po	138.376d	α			
^{222}Rn	3.8235d	α			
^{224}Ra	3.66d	α			
^{226}Ra	$1.6 \times 10^3\text{y}$	α			
^{228}Ra	5.75y	β^-			

核種の元素記号の左肩の数字は質量数、m、m₁は準安定状態を示す。また半減期および壊変形式の項の記号は次のとおりである。

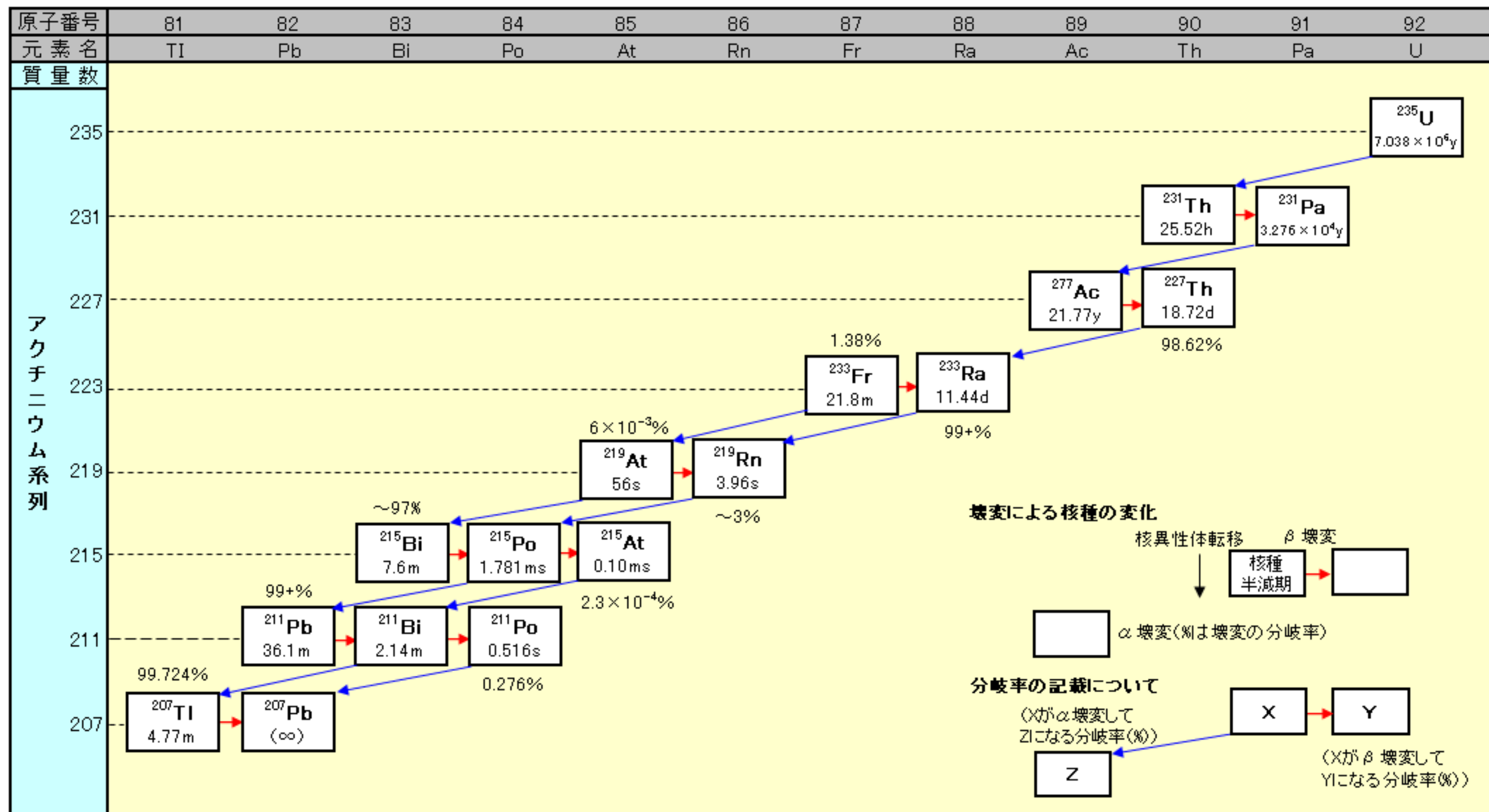
y: 年, d: 日, h: 時, m: 分, s: 秒, α : α 壊変, β^- : β^- 壊変, β^+ : β^+ 壊変,

EC: 軌道電子捕獲, IT: 核異性体転移, SF: 自発核分裂



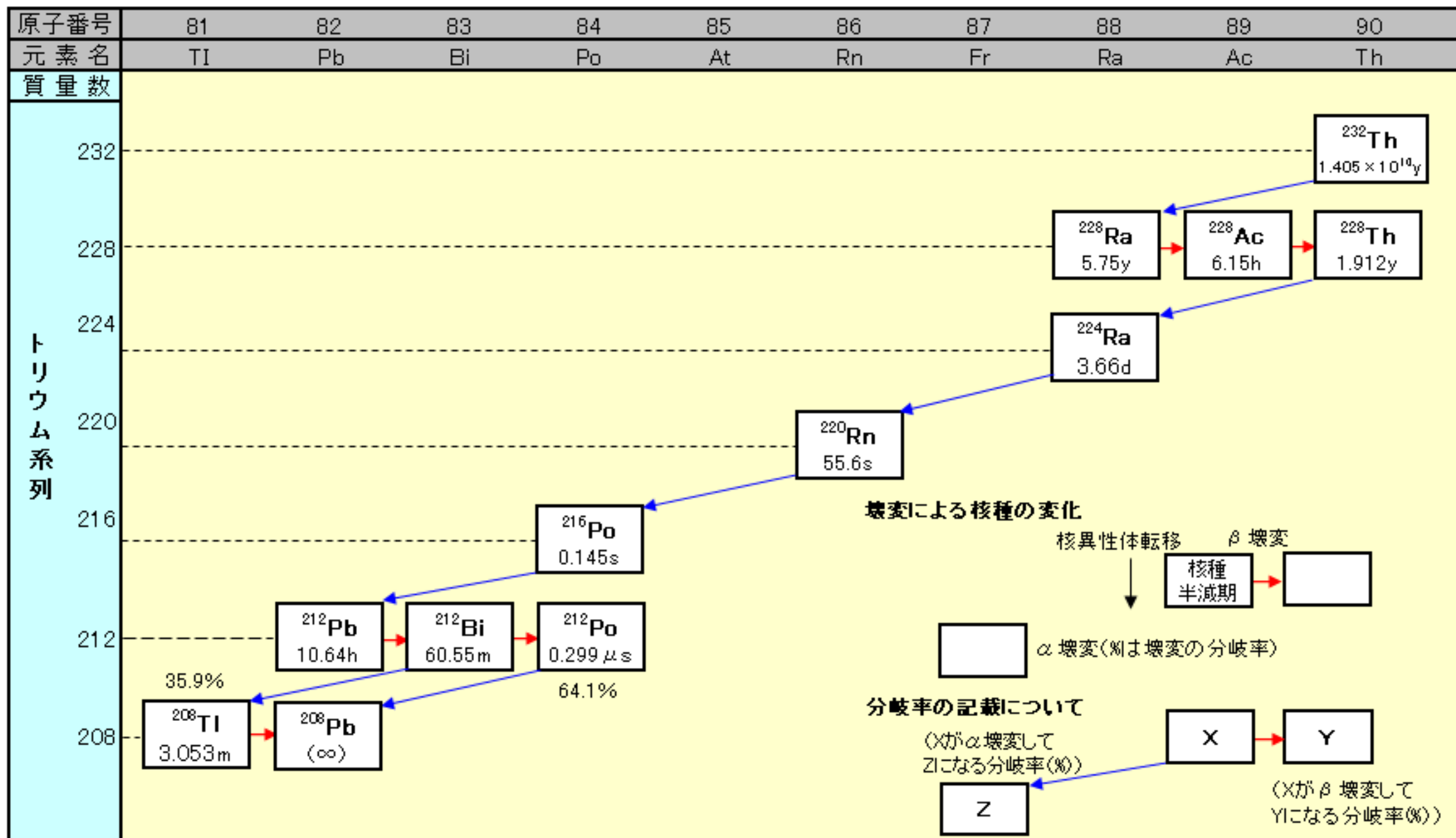
半減期の記号;s(秒), ms(10^{-3} 秒), μ s(10^{-6} 秒), m(分), h(時), d(日), y(年)

図1-1 天然放射性核種の壊変系列図(ウラン系列)(1/4)



半減期の記号;s(秒), ms(10^{-3} 秒), μ s(10^{-6} 秒), m(分), h(時), d(日), y(年)

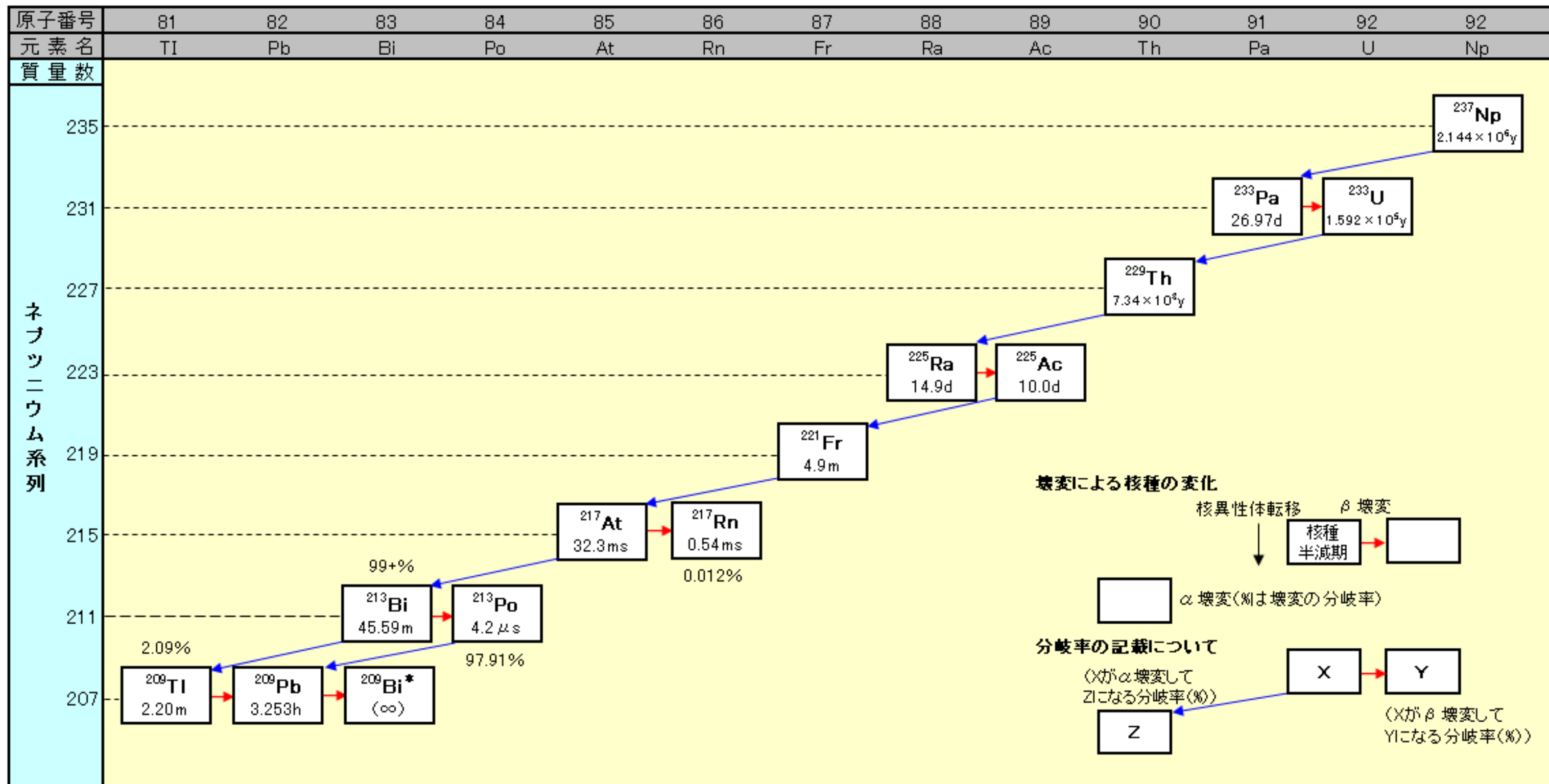
図1-2 天然放射性核種の壊変系列図(アクチニウム系列)(2/4)



半減期の記号;s(秒), ms(10^{-3} 秒), μ s(10^{-6} 秒), m(分), h(時), d(日), y(年)

図1-3 天然放射性核種の壊変系列図(トリウム系列)(3/4)

[出典] 国立天文台(編):理科年表 2010年版、丸善(2009年10月)、p.468-469



*²⁰⁹Biはα壊変する(半減期 1.9×10^{19} 年)と報告されている。
Nature **422**, 876 (2003) による。

半減期の記号:s(秒), ms(10^{-3} 秒), μ s(10^{-6} 秒), m(分), h(時), d(日), y(年)

図1-4 天然放射性核種の壊変系列図(ネプツニウム系列)(4/4)