

# 原子炉内で生成される 放射性物質の種類

緊急的に作成した資料のため  
他のホームページなどから  
画像などを無断引用しています。  
ご理解、ご容赦のほどお願い申し上げます。

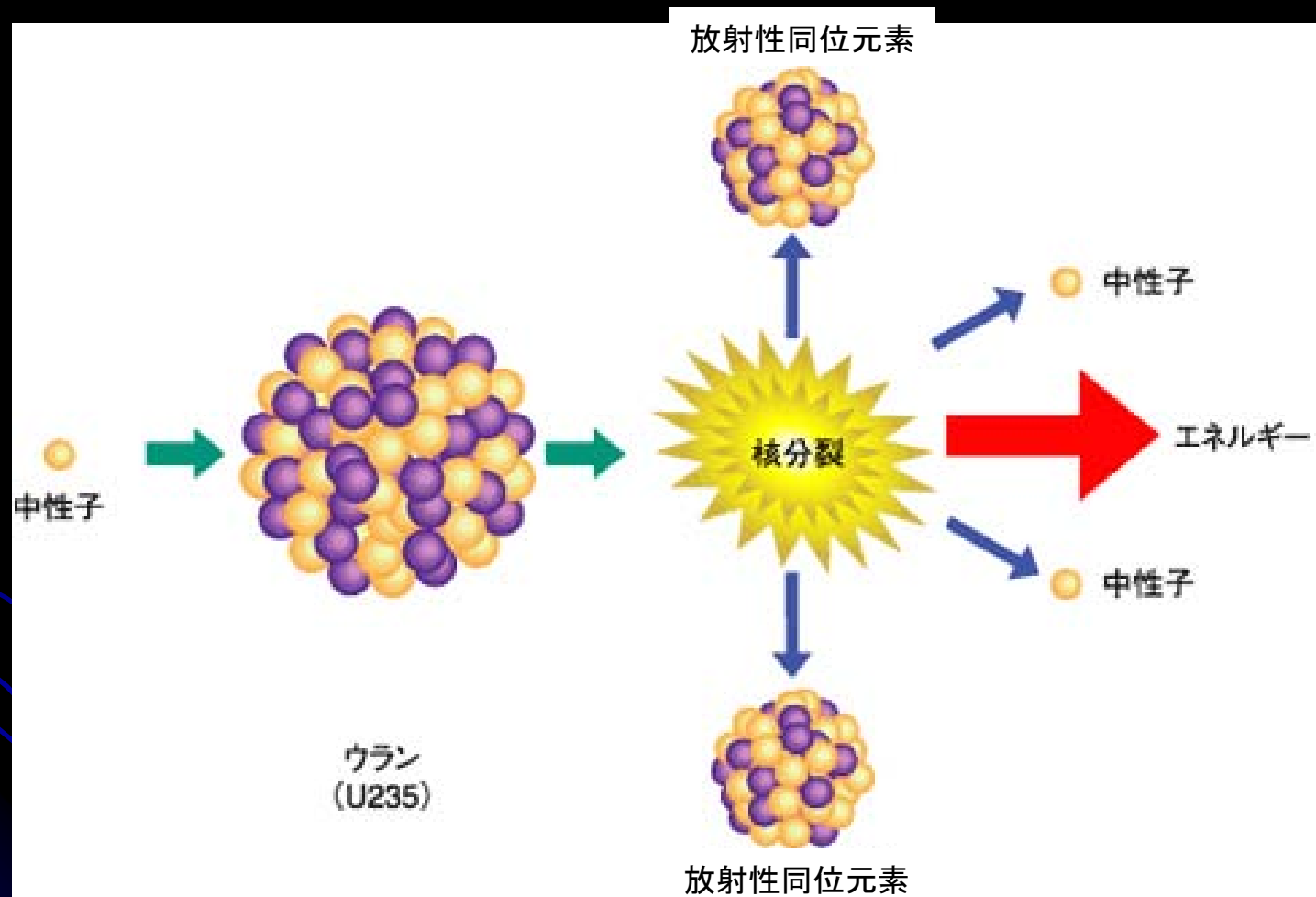
放射線ってよくわからない



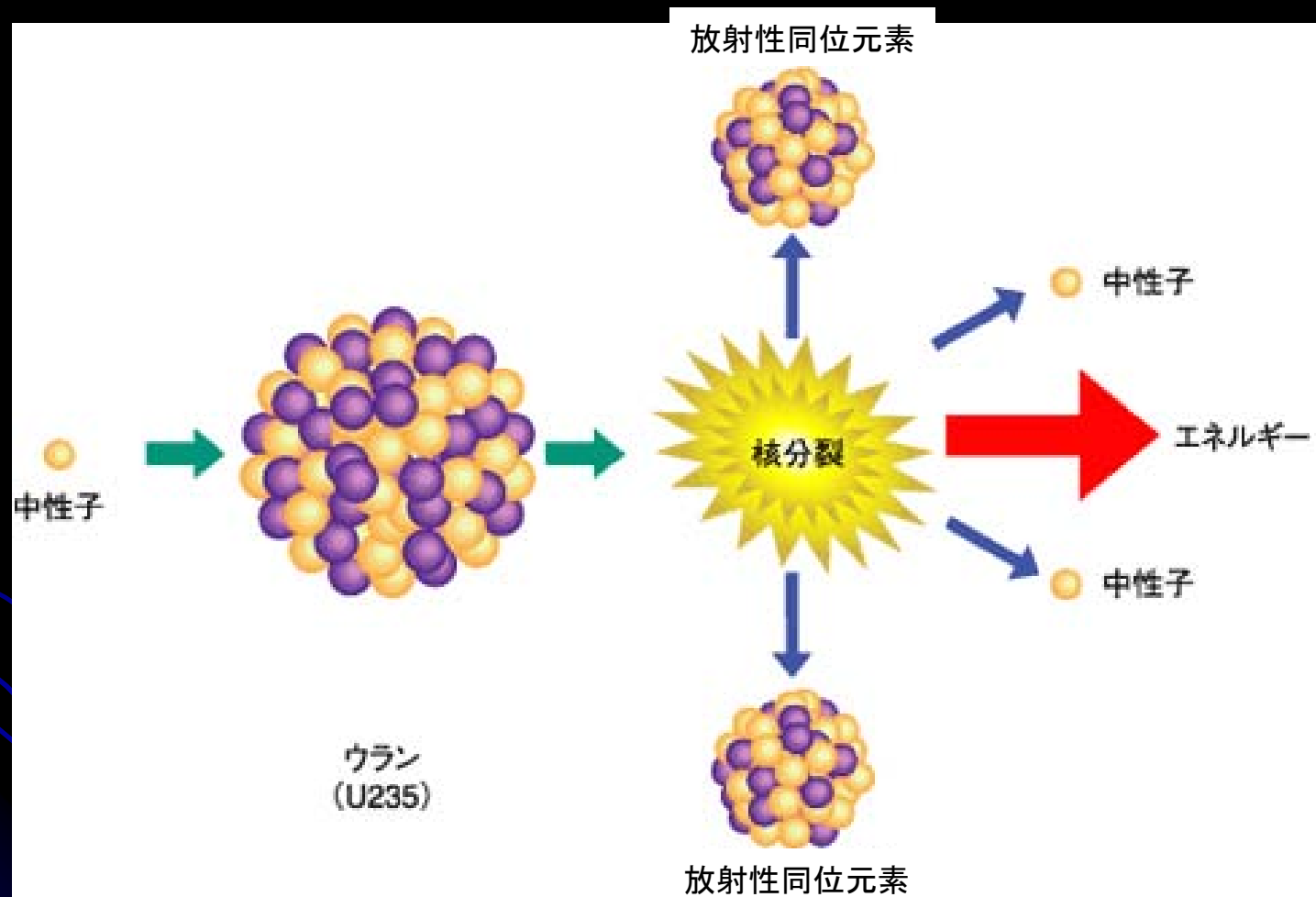
よくわからないから  
得体が知れないから  
怖い

みなさまの「得たいが知れない怖さ」を軽減する  
一助になればと思い、作成しています。

# 235Uに中性子が1個ぶつかると 235Uは核分裂をする



# 核分裂により、2個の放射性同位元素ができる

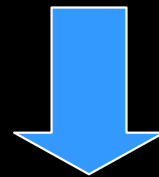


核分裂により、2個の**放射性同位元素**ができる



すなわち

使用途中または使用済み核燃料の中には  
大量の放射性物質がある。



だから

原子力発電所で事故が起きたときには、  
放射性同位元素が環境中への漏れが  
問題となる。

# 核分裂で生成される放射性同位元素は 質量数84～105、129～149が多い

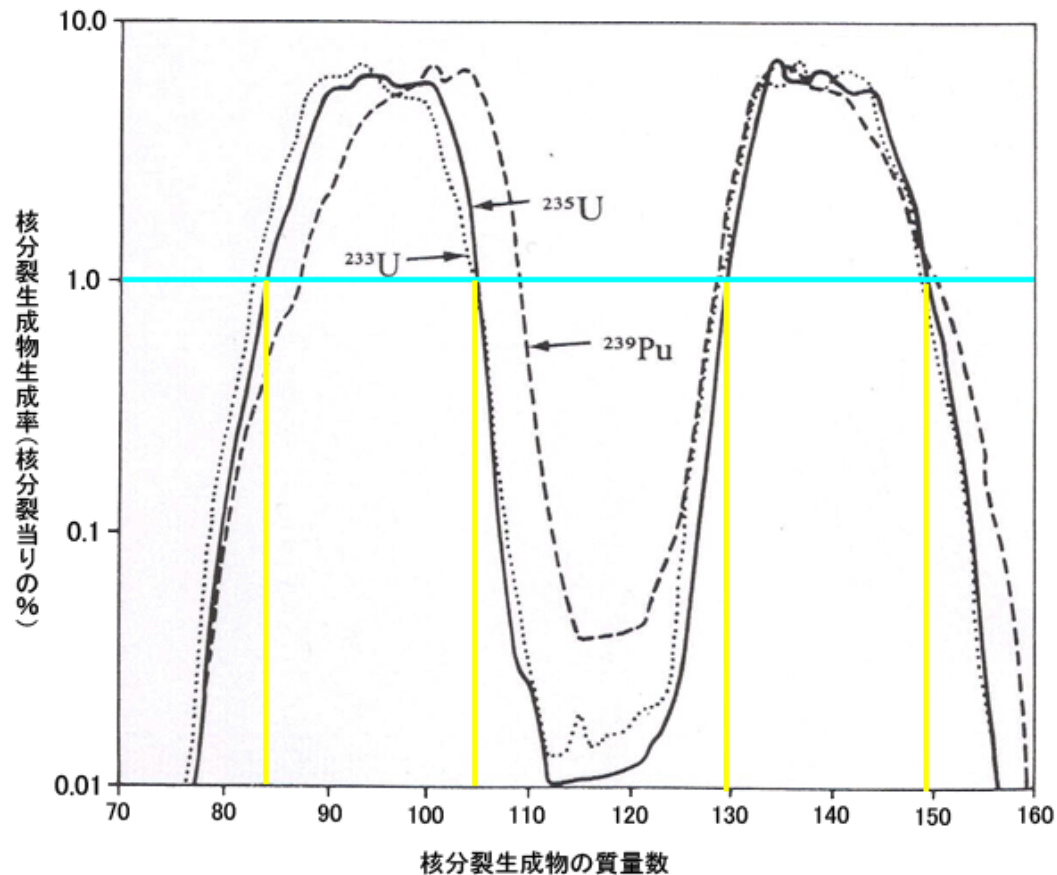


図1 核分裂生成物の質量数分布

[出典]W.マーシャル編:原子炉技術の発展(上)、裳華房、p.72

# 質量数84~105、129~149の 放射性同位元素

$^{85}\text{Kr}$   $^{84}\text{Rb}$   $^{86}\text{Rb}$   $^{87}\text{Rb}$   $^{88}\text{Rb}$   $^{85}\text{Sr}$   $^{87\text{m}}\text{Sr}$   $^{89}\text{Sr}$   $^{90}\text{Sr}$   
 $^{87}\text{Y}$   $^{88}\text{Y}$   $^{90}\text{Y}$   $^{91}\text{Y}$   $^{93}\text{Zr}$   $^{95}\text{Zr}$   $^{97}\text{Zr}$   $^{90}\text{Nb}$   $^{94}\text{Nb}$   $^{95\text{m}}\text{Nb}$   
 $^{95}\text{Nb}$   $^{97}\text{Nb}$   $^{99}\text{Mo}$   $^{99\text{m}}\text{Tc}$   $^{99}\text{Tc}$   $^{103}\text{Ru}$   $^{105}\text{Ru}$   $^{99}\text{Rh}$   
 $^{103}\text{Pd}$   $^{103\text{m}}\text{Rh}$   $^{105}\text{Rh}$   $^{105}\text{Ag}$   $^{129}\text{Te}$   $^{132}\text{Te}$   $^{129}\text{I}$   $^{130}\text{I}$   
 $^{131}\text{I}$   $^{132}\text{I}$   $^{133}\text{I}$   $^{131\text{m}}\text{Xe}$   $^{133\text{m}}\text{Xe}$   $^{133}\text{Xe}$   $^{129}\text{Cs}$   $^{130}\text{Cs}$   
 $^{131}\text{Cs}$   $^{134}\text{Cs}$   $^{135}\text{Cs}$   $^{137}\text{Cs}$   $^{131}\text{Ba}$   $^{133}\text{Ba}$   $^{139}\text{Ba}$   
 $^{140}\text{Ba}$   $^{140}\text{La}$   $^{139}\text{Ce}$   $^{141}\text{Ce}$   $^{143}\text{Ce}$   $^{144}\text{Ce}$   $^{142}\text{Pr}$   $^{143}\text{Pr}$   
 $^{144\text{m}}\text{Pr}$   $^{144}\text{Pr}$   $^{147}\text{Nd}$   $^{149}\text{Nd}$   $^{147}\text{Pm}$   $^{149}\text{Pm}$

# 半減期

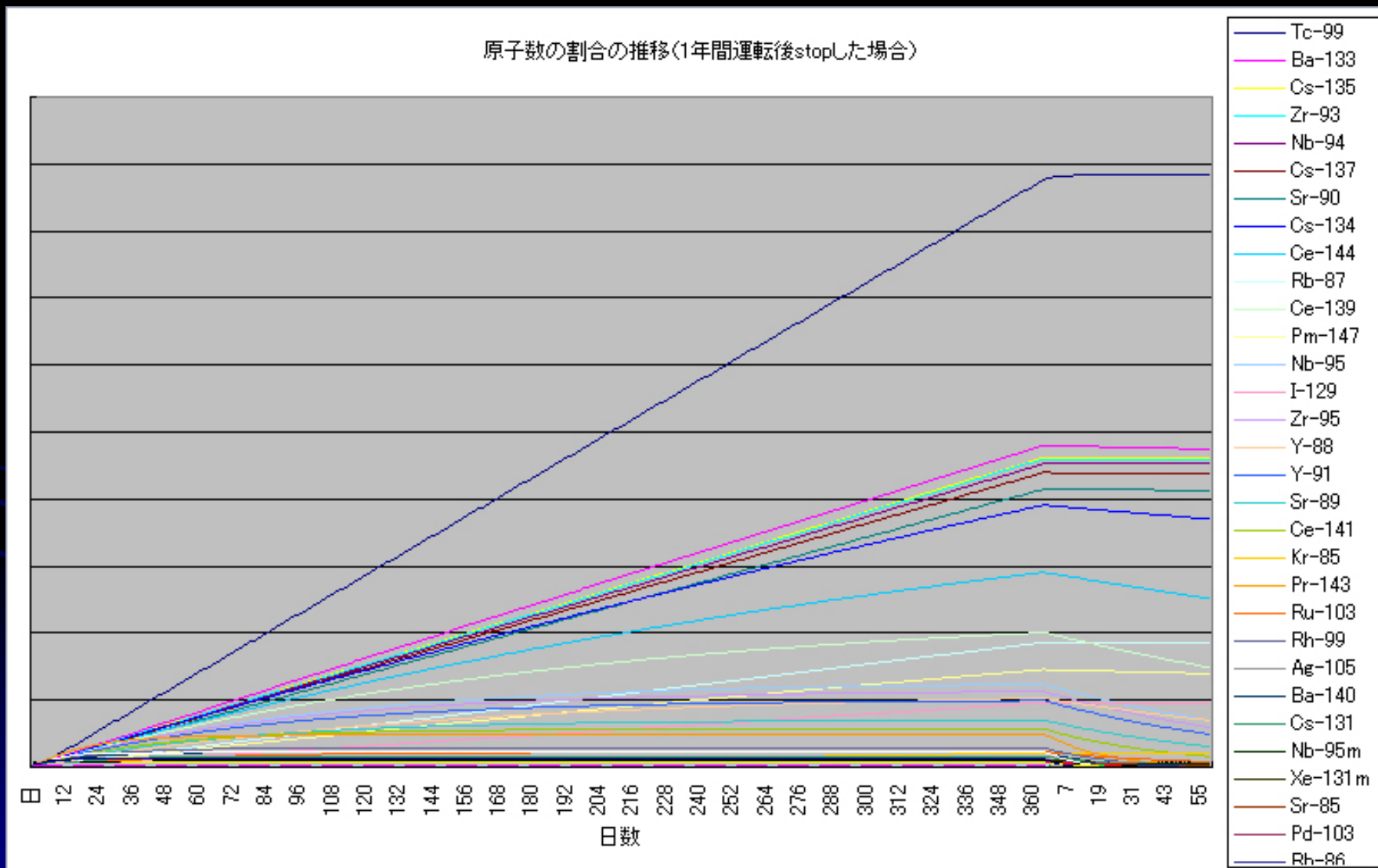
- 放射性同位元素は放射線を放出すると別の種類の元素に変わる。だから時間とともに数が減っていく。
- 放射能が半分になる時間を半減期という。
- 例： $^{131}\text{I}$ (ヨウ素131)は半減期8日で $^{131\text{m}}\text{Xe}$ (キセノン131m)に変わる。
- $^{87}\text{Rb}$ (ルビジウム87)は半減期475億年で $^{87\text{m}}\text{Sr}$ (ストロンチウム87m)に変わる。
- $^{144}\text{Pr}$ (プラセオジウム144)は半減期17分で $^{144}\text{Nd}$ (ネオジウム144)に変わる。
- 半減期は長いものから短いものまで、さまざま。



# 原子炉運転中は

- さまざまな放射性物質が生成される。
- 半減期の長いものは、ほとんど減らずに核燃料棒内にどんどん増えていく。
- 半減期のごく短いものは生成されながら減っていくので核燃料棒内にたまらない。
- だから、核分裂で生成される割合と半減期などを考慮に入れて計算すれば核燃料棒内にどのような放射性物質がどのくらいの割合で残っているか計算できる。

# 核燃料内の放射性同位元素の原子数の推移 1年間原子炉を運転し、停止した場合



# 原子炉を1年間運転して、停止3週間後、 原子数の多いもの

$^{99}\text{Tc}$ (21万1100年)、 $^{133}\text{Ba}$ (10.5年)、

$^{135}\text{Cs}$ (230万年)、 $^{93}\text{Zr}$ (153万年)、

$^{94}\text{Nb}$ (2万300年)、 $^{137}\text{Cs}$ (30年)、

$^{90}\text{Sr}$ (29年)、 $^{134}\text{Cs}$ (2年)、 $^{144}\text{Ce}$ (285日)、

$^{87}\text{Rb}$ (475億年)、 $^{139}\text{Ce}$ (138日)、 $^{147}\text{Pm}$ (2.6年)、

$^{95}\text{Nb}$ (35日)

( )内は半減期

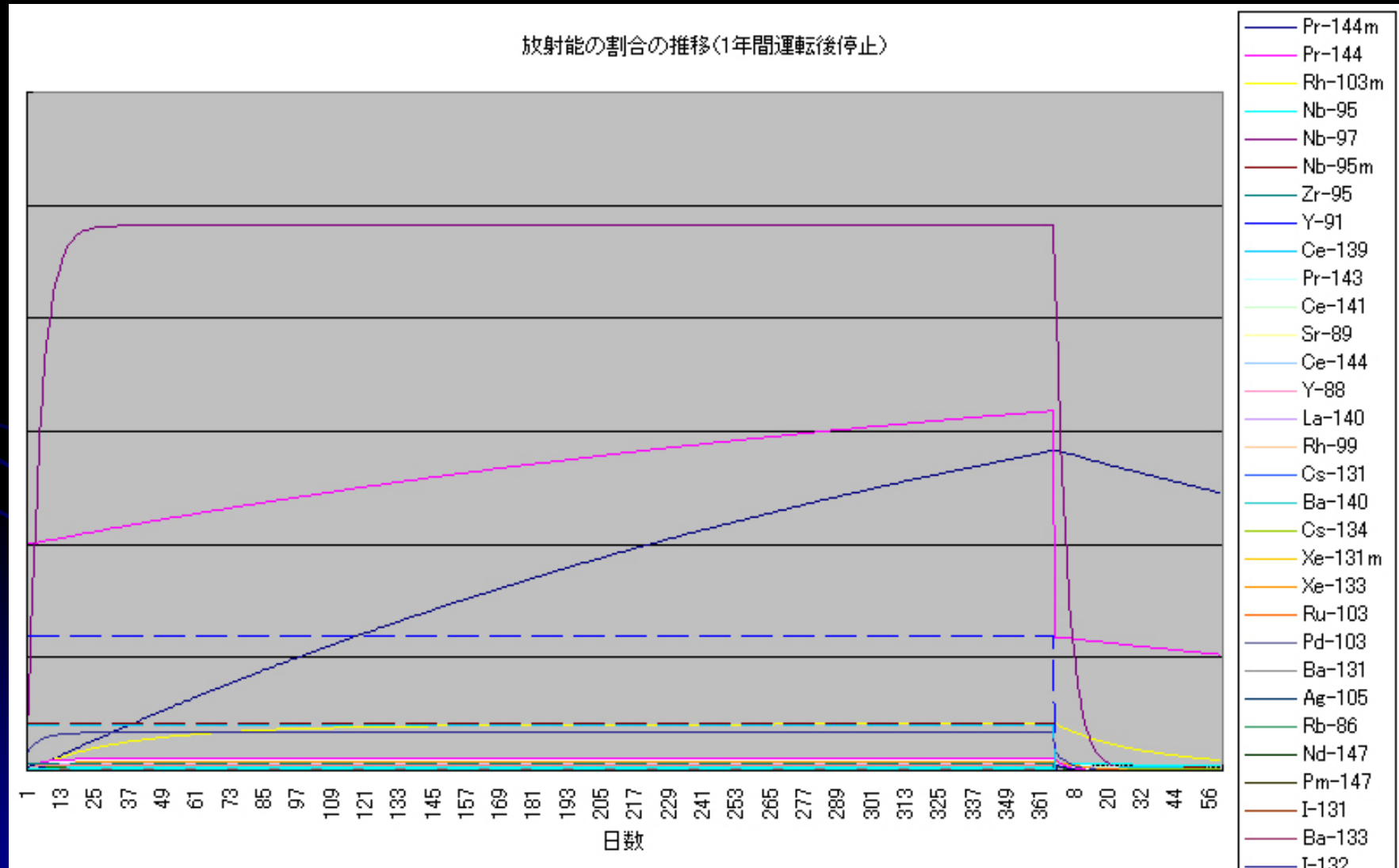
半減期が長い放射性同位元素 ( $^{99}\text{Tc}$  など) は  
ほとんど減らないので  
原子炉を運転するほど燃料棒内にたまっていく。

半減期が長いということは  
なかなか放射線を出さないということなので  
なかなか減らないけど、放射能は低い。

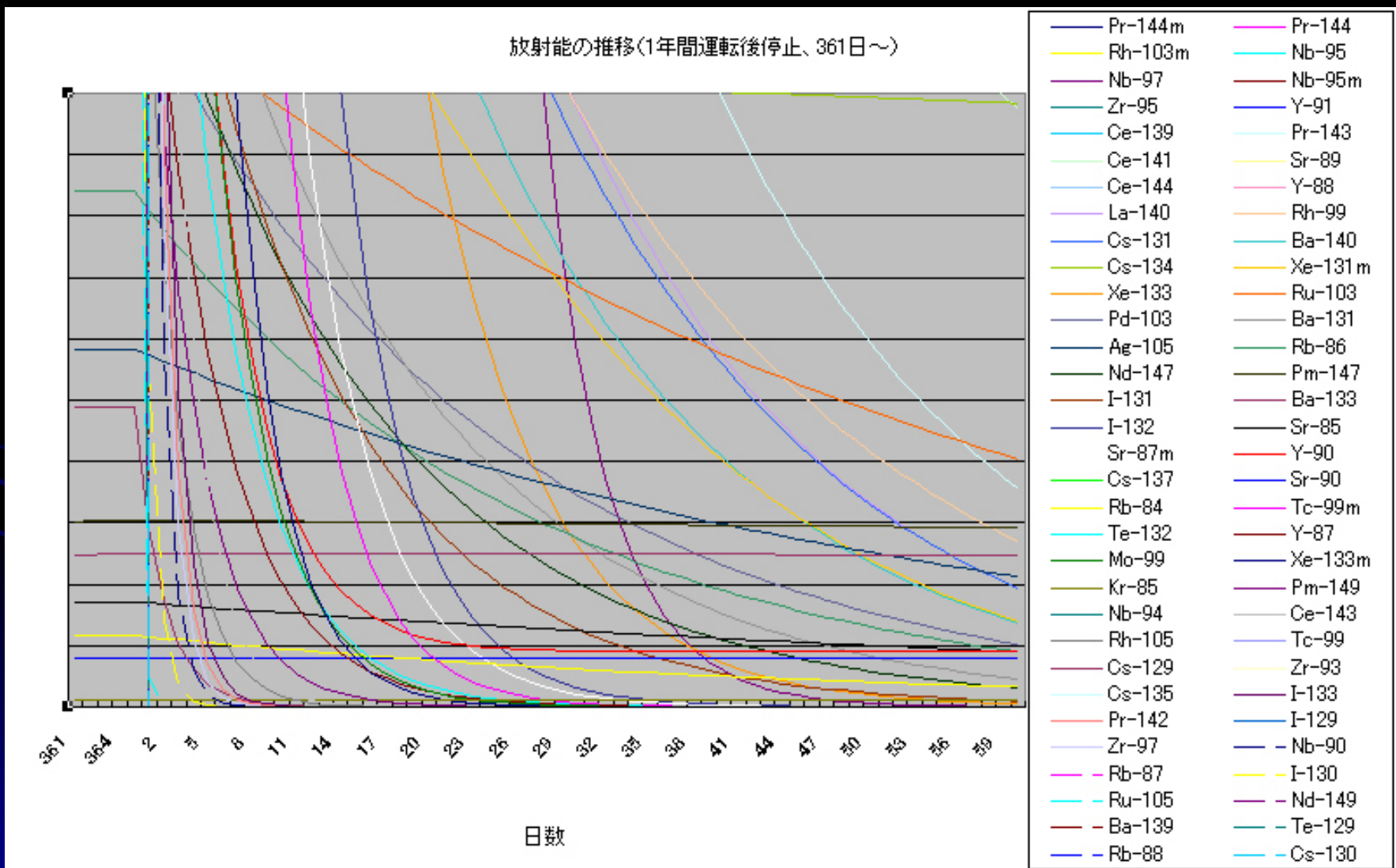
半減期が短いものは、原子炉内で生成されては  
放射線を出して減っていく。  
原子数は少ないけど放射能は高い。

放射能: どのくらい放射線が出ているかということ

# 核燃料内の放射性同位元素の放射能の推移 1年間原子炉を運転し、停止した場合



# 核燃料内の放射性同位元素の放射能の推移 1年間原子炉を運転し、停止した場合 拡大



# 原子炉を1年間運転して、停止3週間後、 放射能の高い順

$^{144\text{m}}\text{Pr}$ (7.2分)、 $^{144}\text{Pr}$ (17.3分)、 $^{103\text{m}}\text{Rh}$ (56分)、  
 $^{95}\text{Nb}$ (35日)、 $^{97}\text{Nb}$ (72分)、 $^{95\text{m}}\text{Nb}$ (87時間)、  
 $^{95}\text{Zr}$ (64日)、 $^{91}\text{Y}$ (58.5日)、 $^{139}\text{Ce}$ (137.6日)、  
 $^{143}\text{Pr}$ (13.6日)、 $^{141}\text{Ce}$ (32.5日)、 $^{89}\text{Sr}$ (50.5日)、  
 $^{144}\text{Ce}$ (285日)

半減期が分単位のもの環境中に漏れだしても、  
人の生活圏に届く頃には無くなるのでそれらを除く  
と...

( )内は半減期

# 原子炉を1年間運転して、停止3週間後、 放射能の高い順(超短半減期のものを除く)

$^{95}\text{Nb}$ (35日)、 $^{95\text{m}}\text{Nb}$ (87時間)、 $^{95}\text{Zr}$ (64日)、 $^{91}\text{Y}$ (58.5日)、 $^{139}\text{Ce}$ (137.6日)、 $^{143}\text{Pr}$ (13.6日)、 $^{141}\text{Ce}$ (32.5日)、 $^{89}\text{Sr}$ (50.5日)、 $^{144}\text{Ce}$ (285日)、 $^{88}\text{Y}$ (107日)、 $^{140}\text{La}$ (1.7日)、 $^{99}\text{Rh}$ (16日)、 $^{131}\text{Cs}$ (9.7日)、 $^{140}\text{Ba}$ (12.8日)、 $^{134}\text{Cs}$ (2年)、 $^{131\text{m}}\text{Xe}$ (12日)、 $^{133}\text{Xe}$ (5日)、 $^{103}\text{Ru}$ (39日)、 $^{103}\text{Pd}$ (17日)、 $^{131}\text{Ba}$ (11.5日)、 $^{105}\text{Ag}$ (41日)、 $^{86}\text{Rb}$ (18.6日)、 $^{147}\text{Nd}$ (11日)、 $^{147}\text{Pm}$ (2.6年)、 $^{131}\text{I}$ (8日)、 $^{133}\text{Ba}$ (10.5年)、 $^{85}\text{Sr}$ (65日)、 $^{90}\text{Y}$ (2.7日)、 $^{137}\text{Cs}$ (30年)

( )内は半減期



# 危険なものは？

核分裂で生成される放射性物質にはたくさんの種類があることはわかった。

では、危険なものはどの物質なのだろう？

- ・気体になりやすいものは遠くに飛んで行きやすい。
- ・体内に入ったとき体内にとどまりやすいものは被ばくが増える
- ・放射能が低くても、化学的毒性の強いものは危険である

次スライドから、放射能の高い順に危険性を記述していく

# Nb (ニオブ)

- 融点 (°C) : 2468
- 沸点 (°C) : 4742
- 毒性 : 資料探せず
- 気体になりやすさ : 資料探せず
- 体内集積性 : 資料探せず

参考 : 放射線取扱の基礎 日本アイソトープ協会

「健康食品」の安全性・有効性情報 国立健康・栄養研究所 <http://hfnet.nih.go.jp/>

通信用語の基礎知識 <http://www.wdic.org/>

地球資源論研究室 <http://home.hiroshima-u.ac.jp/er/index.html>

# Zr(ジルコニウム)

- 融点(°C):1852
- 沸点(°C):4377
- 毒性:資料探せず
- 気体になりやすさ:資料探せず
- 体内集積性:資料探せず

参考:放射線取扱の基礎 日本アイソトープ協会

「健康食品」の安全性・有効性情報 国立健康・栄養研究所 <http://hfnet.nih.go.jp/>

通信用語の基礎知識 <http://www.wdic.org/>

地球資源論研究室 <http://home.hiroshima-u.ac.jp/er/index.html>

# Y(イットリウム)

- 融点(°C):1522
- 沸点(°C):3338
- 毒性:労働安全衛生法  
名称等を通知すべき有害物  
肺の障害のおそれ
- 気体になりやすさ:資料探せず
- 体内集積性:資料探せず

参考:放射線取扱の基礎 日本アイソトープ協会

「健康食品」の安全性・有効性情報 国立健康・栄養研究所 <http://hfnet.nih.go.jp/>

通信用語の基礎知識 <http://www.wdic.org/>

地球資源論研究室 <http://home.hiroshima-u.ac.jp/er/index.html>

# Ce(セレン)

- 融点(°C): 799
- 沸点(°C): 3426
- 毒性: 過剰摂取は毒性強い
- 気体になりやすさ: 資料探せず
- 体内集積性: 必須の微量元素。日本人の平均摂取量は約100  $\mu$ g/日。消化管からの吸収率は50%以上。必要量が少ないので、体内に大量に蓄積はしないと思われる。

参考: 放射線取扱の基礎 日本アイソトープ協会

「健康食品」の安全性・有効性情報 国立健康・栄養研究所 <http://hfnet.nih.go.jp/>

通信用語の基礎知識 <http://www.wdic.org/>

地球資源論研究室 <http://home.hiroshima-u.ac.jp/er/index.html>

# Pr(プラセオジウム)

- 融点(°C): 931
- 沸点(°C): 3510
- 毒性: 資料探せず
- 気体になりやすさ: 資料探せず
- 体内集積性: 資料探せず

参考: 放射線取扱の基礎 日本アイソトープ協会

「健康食品」の安全性・有効性情報 国立健康・栄養研究所 <http://hfnet.nih.go.jp/>

通信用語の基礎知識 <http://www.wdic.org/>

地球資源論研究室 <http://home.hiroshima-u.ac.jp/er/index.html>

# Sr(ストロンチウム)

- 融点(°C): 757
- 沸点(°C): 1384
- 毒性: 資料探せず
- 気体になりやすさ: 資料探せず
- 体内集積性: **骨に集積する** (癌骨転位の疼痛緩和剤として利用されている)

参考: 放射線取扱の基礎 日本アイソトープ協会

「健康食品」の安全性・有効性情報 国立健康・栄養研究所 <http://hfnet.nih.go.jp/>

通信用語の基礎知識 <http://www.wdic.org/>

地球資源論研究室 <http://home.hiroshima-u.ac.jp/er/index.html>

# La(ランタン)

- 融点(°C): 920
- 沸点(°C): 3461
- 毒性: 資料探せず
- 気体になりやすさ: 資料探せず
- 体内集積性: 資料探せず

参考: 放射線取扱の基礎 日本アイソトープ協会

「健康食品」の安全性・有効性情報 国立健康・栄養研究所 <http://hfnet.nih.go.jp/>

通信用語の基礎知識 <http://www.wdic.org/>

地球資源論研究室 <http://home.hiroshima-u.ac.jp/er/index.html>



# Rh(ロジウム)

- 融点(°C): 1965
- 沸点(°C): 3695
- 毒性: 資料探せず
- 気体になりやすさ: 資料探せず
- 体内集積性: 資料探せず

参考: 放射線取扱の基礎 日本アイソトープ協会

「健康食品」の安全性・有効性情報 国立健康・栄養研究所 <http://hfnet.nih.go.jp/>

通信用語の基礎知識 <http://www.wdic.org/>

地球資源論研究室 <http://home.hiroshima-u.ac.jp/er/index.html>

# Cs(セシウム)

- 融点(°C): 28.46
- 沸点(°C): 690
- 毒性: 資料探せず
- 気体になりやすさ: 高い(揮発性化合物が多い)
- 体内集積性: 筋肉、全身

参考: 放射線取扱の基礎 日本アイソトープ協会

「健康食品」の安全性・有効性情報 国立健康・栄養研究所 <http://hfnet.nih.go.jp/>

通信用語の基礎知識 <http://www.wdic.org/>

地球資源論研究室 <http://home.hiroshima-u.ac.jp/er/index.html>

揮発性セシウム化合物を捕集するフィルター型捕集材及びそれを用いた揮発性セシウム化合物を捕集する方法

<http://patent.astamuse.com/ja/published/JP/No/2011050951>

# Xe(キセノン)

- 融点(°C): -112
- 沸点(°C): -108
- 毒性: 資料探せず
- 気体になりやすさ: 高い(常温で気体)
- 体内集積性: 資料探せず

参考: 放射線取扱の基礎 日本アイソトープ協会

「健康食品」の安全性・有効性情報 国立健康・栄養研究所 <http://hfnet.nih.go.jp/>

通信用語の基礎知識 <http://www.wdic.org/>

地球資源論研究室 <http://home.hiroshima-u.ac.jp/er/index.html>

# Ru(ルテニウム)

- 融点(°C): 2310
- 沸点(°C): 3900
- 毒性: RuO<sub>4</sub>は哺乳動物に非常に有毒。ただし、有毒な程の量が生活圏に飛散してくるとは考えにくい。
- 気体になりやすさ: 高い
- 体内集積性: 資料探せず

参考: 放射線取扱の基礎 日本アイソトープ協会

「健康食品」の安全性・有効性情報 国立健康・栄養研究所 <http://hfnet.nih.go.jp/>

通信用語の基礎知識 <http://www.wdic.org/>

地球資源論研究室 <http://home.hiroshima-u.ac.jp/er/index.html>

揮発性セシウム化合物を捕集するフィルター型捕集材及びそれを用いた揮発性セシウム化合物を捕集する方法

<http://patent.astamuse.com/ja/published/JP/No/2011050951>

# Pd(パラジウム)

- 融点(°C):1552
- 沸点(°C):2964
- 毒性:資料探せず
- 気体になりやすさ:資料探せず
- 体内集積性:資料探せず

参考:放射線取扱の基礎 日本アイソトープ協会

「健康食品」の安全性・有効性情報 国立健康・栄養研究所 <http://hfnet.nih.go.jp/>

通信用語の基礎知識 <http://www.wdic.org/>

地球資源論研究室 <http://home.hiroshima-u.ac.jp/er/index.html>

# Ba(バリウム)

- 融点(°C):725
- 沸点(°C):1640
- 毒性:200mg/日で人間に有毒(こんなに飛んでこない)
- 気体になりやすさ:資料探せず
- 体内集積性:資料探せず

参考:放射線取扱の基礎 日本アイソトープ協会

「健康食品」の安全性・有効性情報 国立健康・栄養研究所 <http://hfnet.nih.go.jp/>

通信用語の基礎知識 <http://www.wdic.org/>

地球資源論研究室 <http://home.hiroshima-u.ac.jp/er/index.html>

# Ag(銀)

- 融点(°C): 962
- 沸点(°C): 2212
- 毒性: 人間には60mg/日で有毒(こんなに飛んでこない)
- 気体になりやすさ: 資料探せず
- 体内集積性: 資料探せず

参考: 放射線取扱の基礎 日本アイソトープ協会

「健康食品」の安全性・有効性情報 国立健康・栄養研究所 <http://hfnet.nih.go.jp/>

通信用語の基礎知識 <http://www.wdic.org/>

地球資源論研究室 <http://home.hiroshima-u.ac.jp/er/index.html>

# Rb(ルビジウム)

- 融点(°C): 39
- 沸点(°C): 696
- 毒性: 資料探せず
- 気体になりやすさ: 比較的沸点が低い
- 体内集積性: Cs同様、K(カリウム)と同様の体内動態を示すと思われる。筋肉や全身に集積すると思われる。心筋PET検査に用いられる。

参考: 放射線取扱の基礎 日本アイソトープ協会  
「健康食品」の安全性・有効性情報 国立健康・栄養研究所 <http://hfnet.nih.go.jp/>  
通信用語の基礎知識 <http://www.wdic.org/>  
地球資源論研究室 <http://home.hiroshima-u.ac.jp/er/index.html>



# Nd(ネオジウム)

- 融点(°C):1021
- 沸点(°C):3070
- 毒性:資料探せず
- 気体になりやすさ:資料探せず
- 体内集積性:資料探せず

参考:放射線取扱の基礎 日本アイソトープ協会

「健康食品」の安全性・有効性情報 国立健康・栄養研究所 <http://hfnet.nih.go.jp/>

通信用語の基礎知識 <http://www.wdic.org/>

地球資源論研究室 <http://home.hiroshima-u.ac.jp/er/index.html>

# Pm(プロメチウム)

- 融点(°C):1170
- 沸点(°C):2460
- 毒性:資料探せず
- 気体になりやすさ:資料探せず
- 体内集積性:資料探せず

参考:放射線取扱の基礎 日本アイソトープ協会

「健康食品」の安全性・有効性情報 国立健康・栄養研究所 <http://hfnet.nih.go.jp/>

通信用語の基礎知識 <http://www.wdic.org/>

地球資源論研究室 <http://home.hiroshima-u.ac.jp/er/index.html>

# I(ヨウ素)

- 融点(°C):114
- 沸点(°C):184
- 毒性:毒物及び劇物取締法で劇物に指定  
人間には2mg/日で有毒
- 気体になりやすさ:酸化により揮発性高い
- 体内集積性:甲状腺に高集積
- 備考:安定ヨウ素全世界需要量の約40%を千葉県で生産している

参考:放射線取扱の基礎 日本アイソトープ協会

「健康食品」の安全性・有効性情報 国立健康・栄養研究所 <http://hfnet.nih.go.jp/>

通信用語の基礎知識 <http://www.wdic.org/>

地球資源論研究室 <http://home.hiroshima-u.ac.jp/er/index.html>

チェルノブイリ原子力発電所事故では、大爆発が起きたため、気体になりにくいものも含めて、すべての放射性物質が飛散してしまった。

福島第一原子力発電所事故ではすべての放射性物質が飛散するような爆発は起きていないので、気体になりにくいものは飛散しにくいはずであり、注意すべきは**気体になりやすい放射性物質**であり、その中でも**体内に集積しやすい**ものである。

# 気体になりやすく、 体内に集積しやすいもの (原子炉1年運転&停止3週間後で放射能高い順)

$^{131}\text{Cs}$  (9.7日)、セシウム131

$^{134}\text{Cs}$  (2年)、セシウム134

$^{86}\text{Rb}$  (18.6日)、ルビジウム86

$^{131}\text{I}$  (8日)、ヨウ素131

$^{137}\text{Cs}$  (30年)、セシウム137

ただし、 $^{131}\text{Cs}$ が放出する放射線のエネルギーは非常に低く、人体に与える影響も少ない。( )内は半減期

# 海水への漏出について

4月5日まで

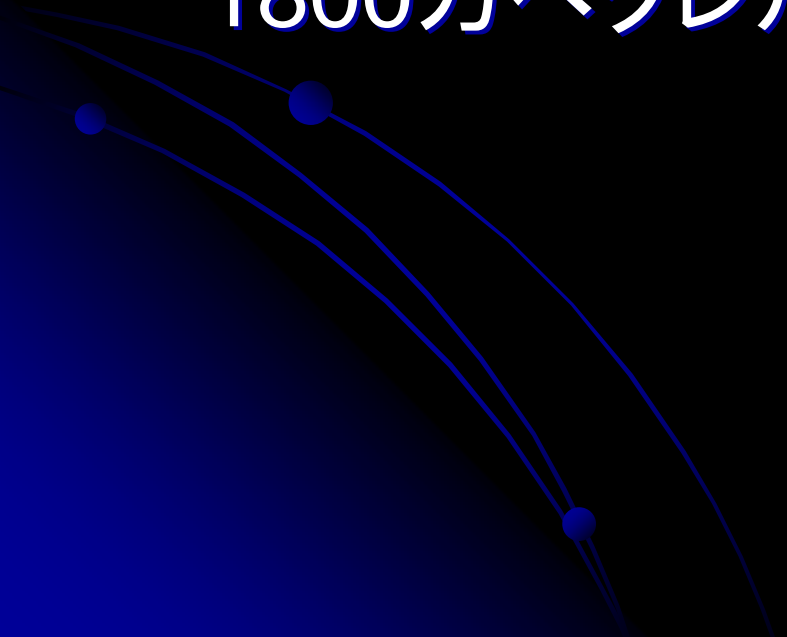
**海水中**に放出された放射性物質には  
気体になりにくいものも含まれている可能性があり、  
また、残念ながら非常に大量であった。

海産物の汚染については  
今後注視していく必要があると思われる。

# $^{131}\text{I}$ (ヨウ素131)が 最も報道で取り上げられる理由

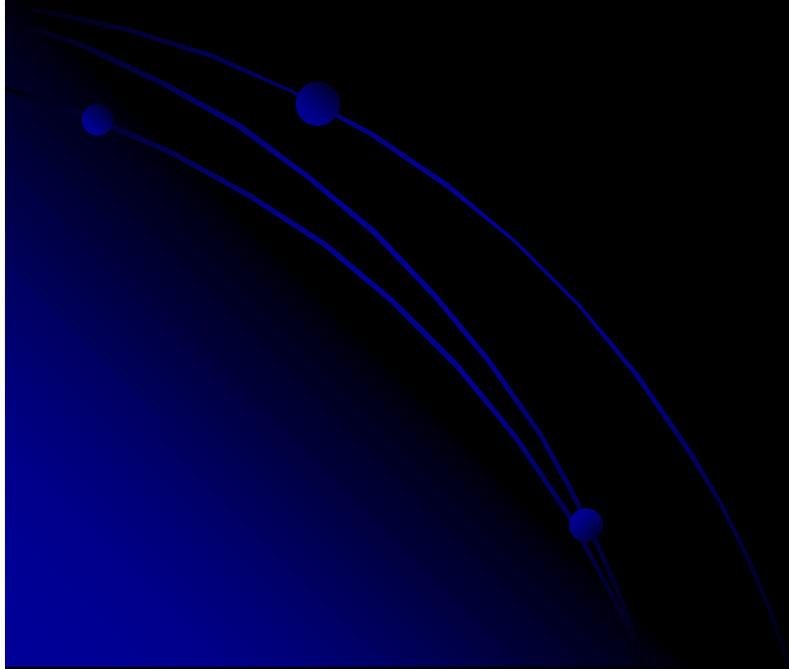
- 揮発性(気体になりやすい)であること
- 体内に取り込んだ場合、甲状腺に集中的に集まるので、被ばくが甲状腺に集中し、臓器ごとの癌罹患率を考えた場合最も危険であること

# 参考： $^{131}\text{I}$ の医学的利用

- 経口投与による甲状腺癌、バセドウ病の治療  
(投与量：10億ベクレル以上、被ばく線量：甲状腺に30シーベルト以上)
  - 褐色細胞腫、副腎腫瘍などの診断(投与量：1800万ベクレル以上)
- 



# プルトニウムについて



核燃料には、核分裂をする $^{235}\text{U}$ が3%含まれている。  
のこりの97%は $^{238}\text{U}$ である。

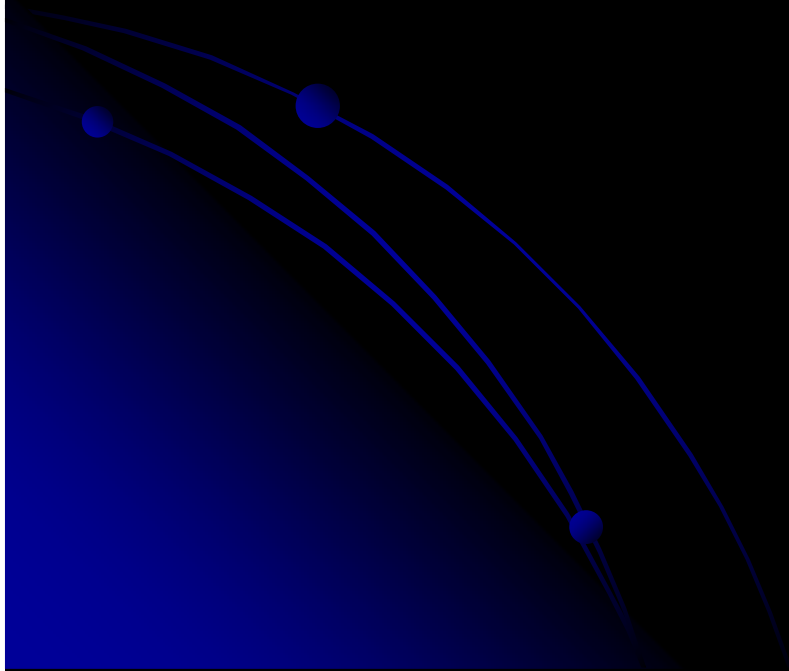
$^{235}\text{U}$ に中性子があたると核分裂が起こるが、  
 $^{238}\text{U}$ に中性子があたると $^{239}\text{U}$ になり  
下記のことが起こる。



( )内は半減期

すなわち、  
核燃料棒の中には  
核分裂で放射性物質が生成されているだけでなく  
 $^{239}\text{Pu}$  (プルトニウム239) も生成されている。

運転終了後、核燃料棒内の1%は $^{239}\text{Pu}$ である。



# $^{239}\text{Pu}$ (プルトニウム239)

- 融点(°C): 639.5
- 沸点(°C): 3231
- 半減期: 2万4千年
- 毒性: 吸入による急性毒性は青酸カリと同等
- 気体になりやすさ: なりにくい
- 体内集積性: **肺、肝臓、骨に集積**
- 中性子があたると核分裂するので、核燃料・原子爆弾材料となりうる。

参考: 放射線取扱の基礎 日本アイソトープ協会

「健康食品」の安全性・有効性情報 国立健康・栄養研究所 <http://hfnet.nih.go.jp/>

通信用語の基礎知識 <http://www.wdic.org/>

地球資源論研究室 <http://home.hiroshima-u.ac.jp/er/index.html>

## $^{239}\text{Pu}$ が放出する放射線

- 核分裂によって生成される放射性物質から放出される放射線の20倍の生物学的効果をもたらす、 $\alpha$ 線を放出する。
- $\alpha$ 線は紙1枚で遮ることができる。
- したがって問題となるのは体内に取り込んだ場合。
- 気体になりにくいので、過度に心配する必要はない。(4月13日現在)

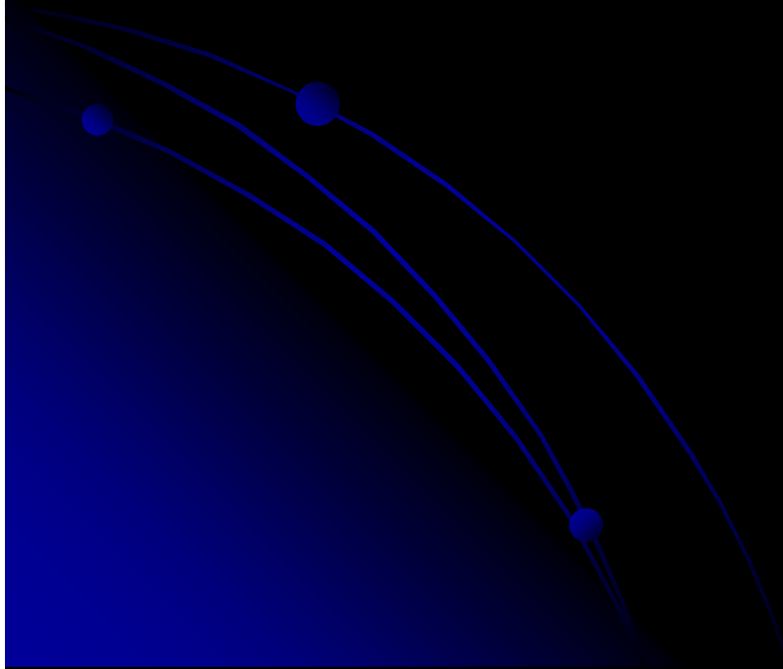
# 資料

質量数84～105、129～149の  
放射性同位元素の壊変  
少し専門的な内容も含まれます。

# $^{85}\text{Kr}$ (クリプトン)

$^{85}\text{Kr}$  (10.76年)  $\rightarrow$   $^{85}\text{Rb}$

$\beta$  - 崩壊



( )内は半減期

# $^{84}\text{Rb}$ (ルビジウム)

$\beta^-$ 崩壊



$\beta^+$ 崩壊、軌道電子捕獲

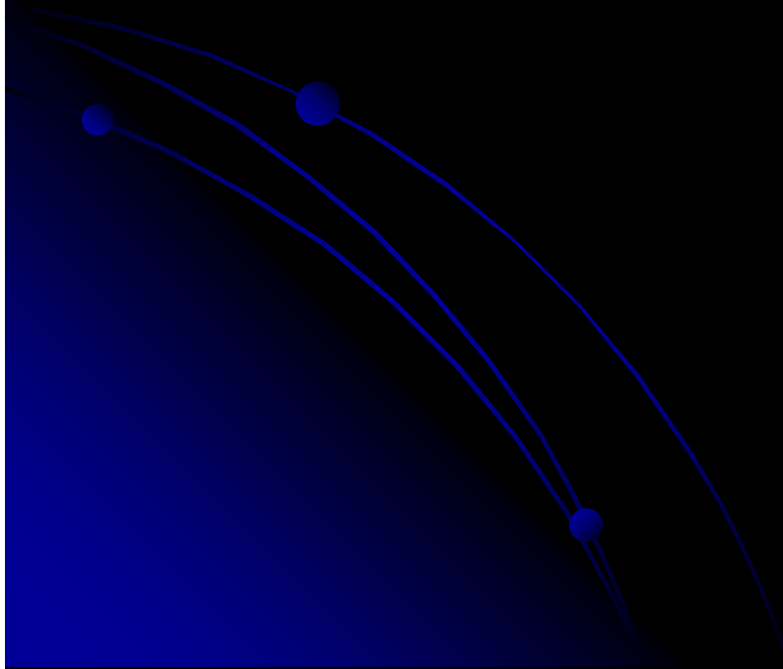
( )内は半減期



# $^{86}\text{Rb}$ (ルビジウム)



$\beta$  - 崩壊



( )内は半減期

# $^{87}\text{Rb}$ (ルビジウム)



$\beta$  - 崩壊

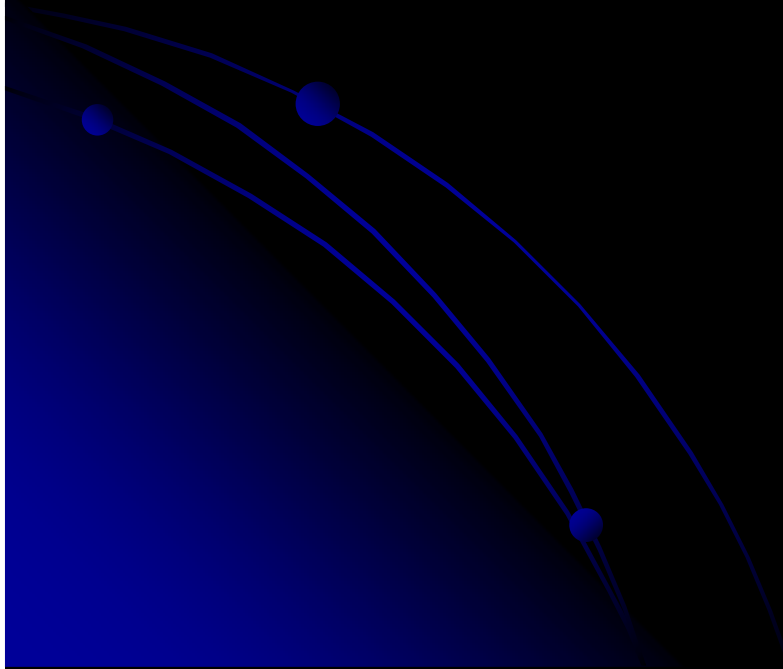
核異性体転移

( )内は半減期

# $^{88}\text{Rb}$ (ルビジウム)



$\beta$  - 崩壊



( )内は半減期

# $^{85}\text{Sr}$ (ストロンチウム)



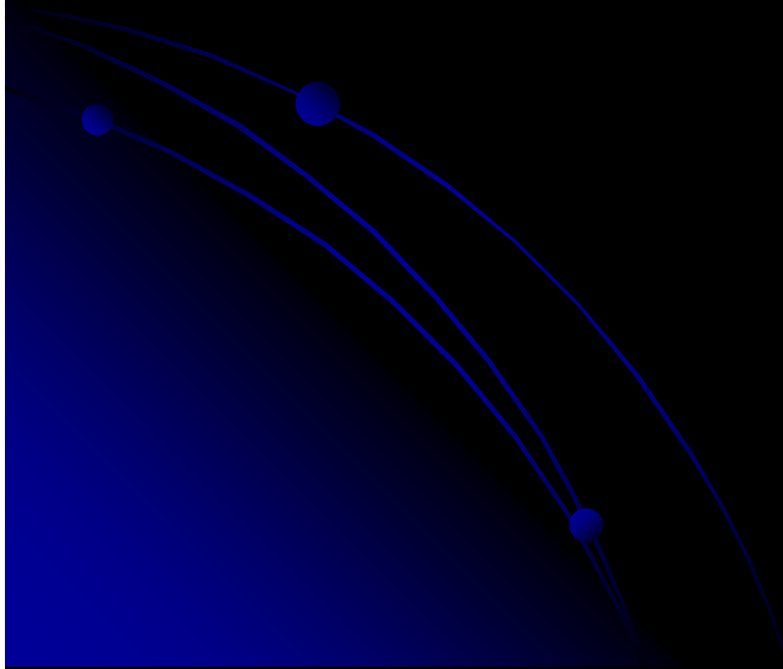
軌道電子捕獲

( )内は半減期

# $^{89}\text{Sr}$ (ストロンチウム)



$\beta$  - 崩壊



( )内は半減期

# $^{90}\text{Sr}$ (ストロンチウム)



$\beta$  - 崩壊

$\beta$  - 崩壊

( )内は半減期

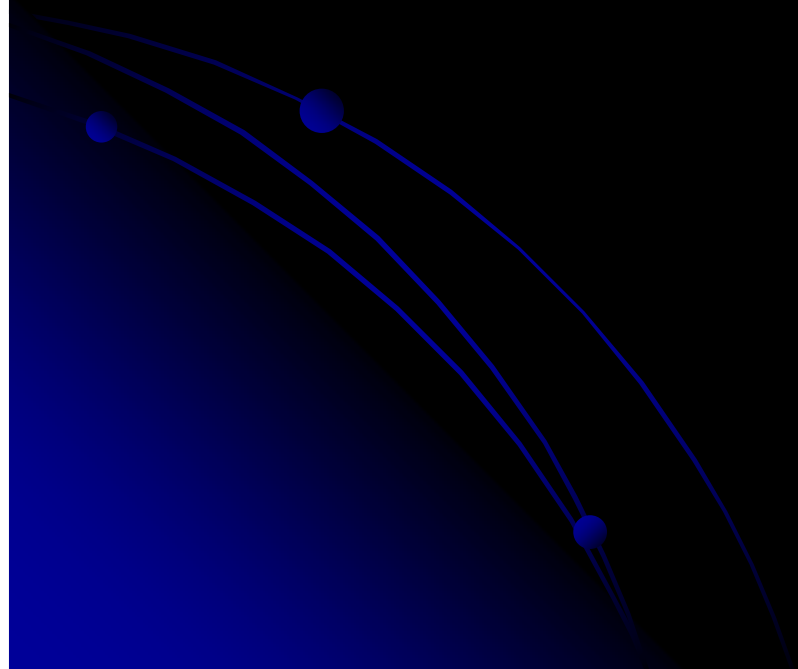
# $^{87}\text{Y}$ (イットリウム)



$\beta^+$ 崩壊、軌道電子捕獲

核異性体転移

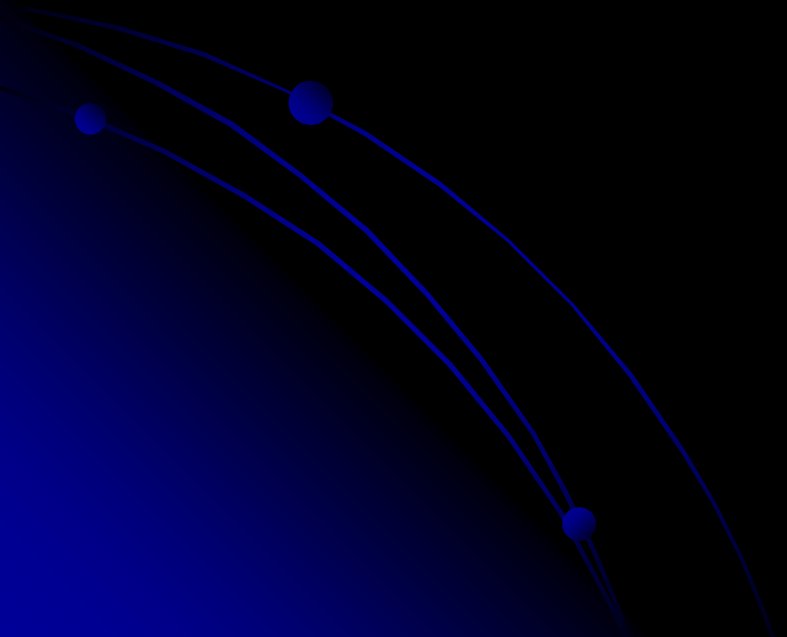
( )内は半減期



# $^{88}\text{Y}$ (イットリウム)



$\beta^+$ 崩壊、軌道電子捕獲



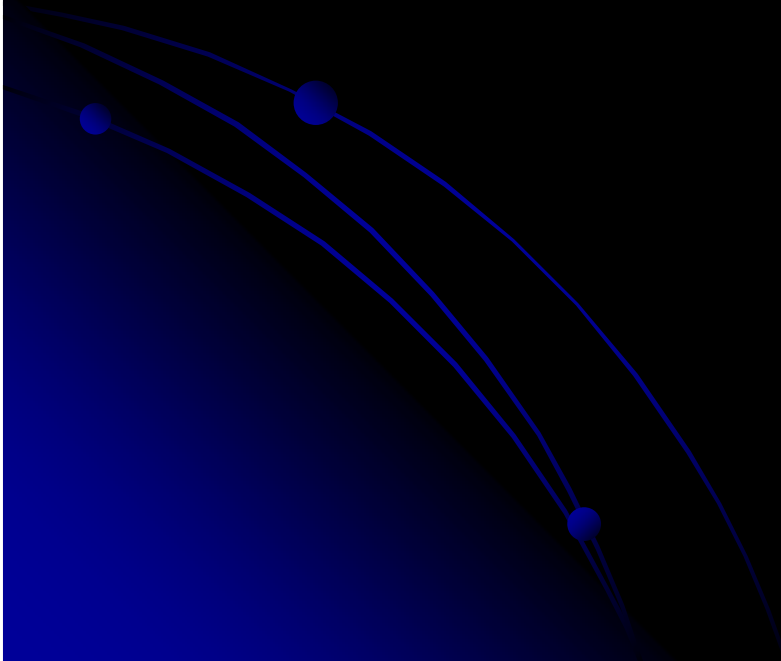
( )内は半減期



# $^{90}\text{Y}$ (イットリウム)



$\beta$  - 崩壊

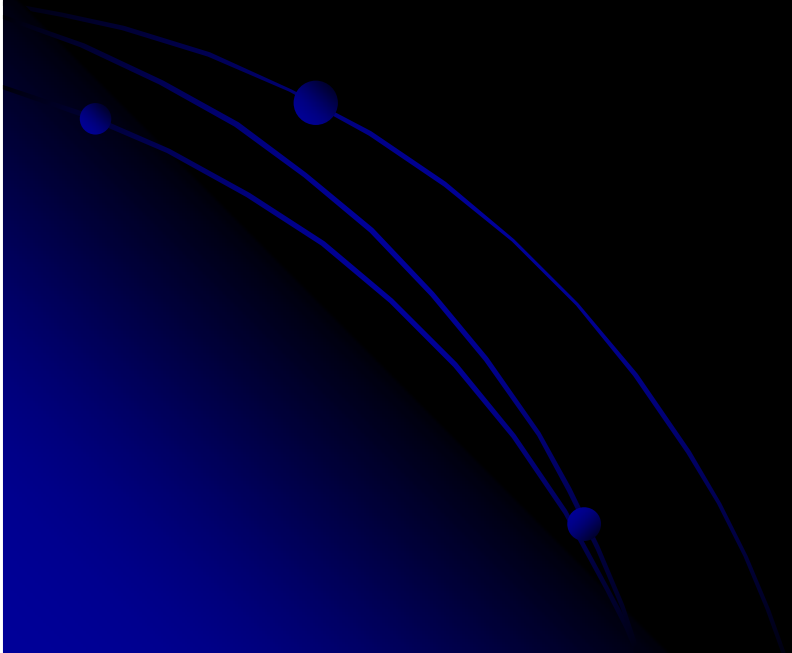


( )内は半減期

# $^{91}\text{Y}$ (イットリウム)



$\beta$ -崩壊



( )内は半減期

# $^{93}\text{Zr}$ (ジルコニウム)



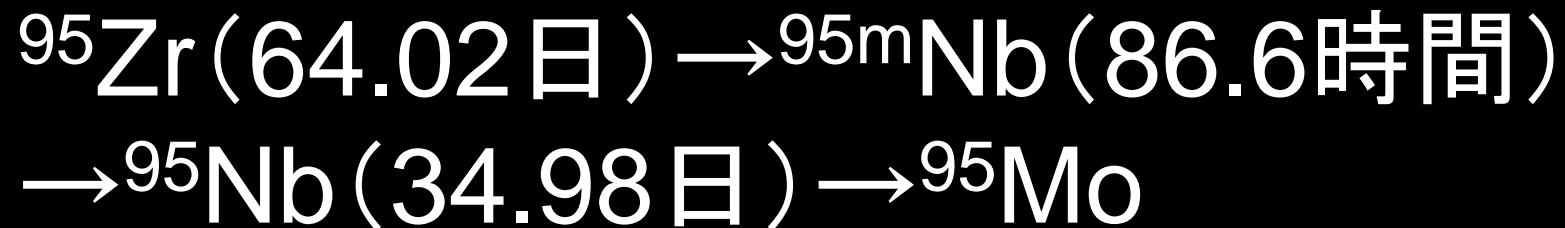
$\beta$  - 崩壊

核異性体転移

( )内は半減期

# $^{95}\text{Zr}$ (ジルコニウム)

$\beta$  - 崩壊



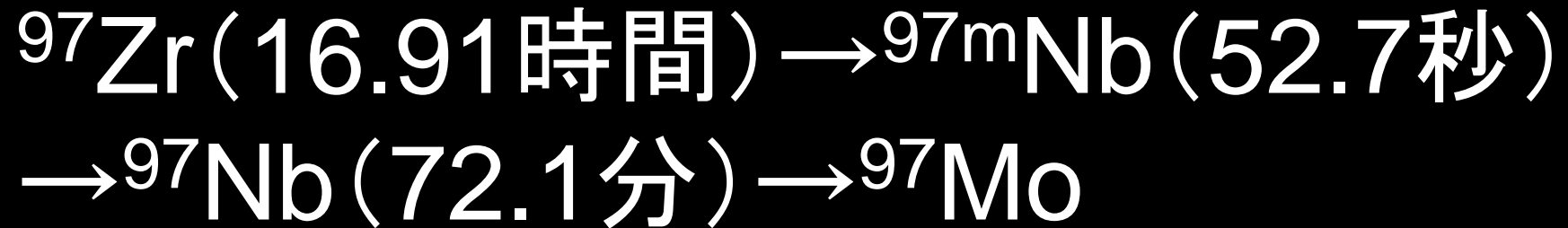
核異性体転移

$\beta$  - 崩壊

( )内は半減期

# $^{97}\text{Zr}$ (ジルコニウム)

$\beta$  - 崩壊



核異性体転移

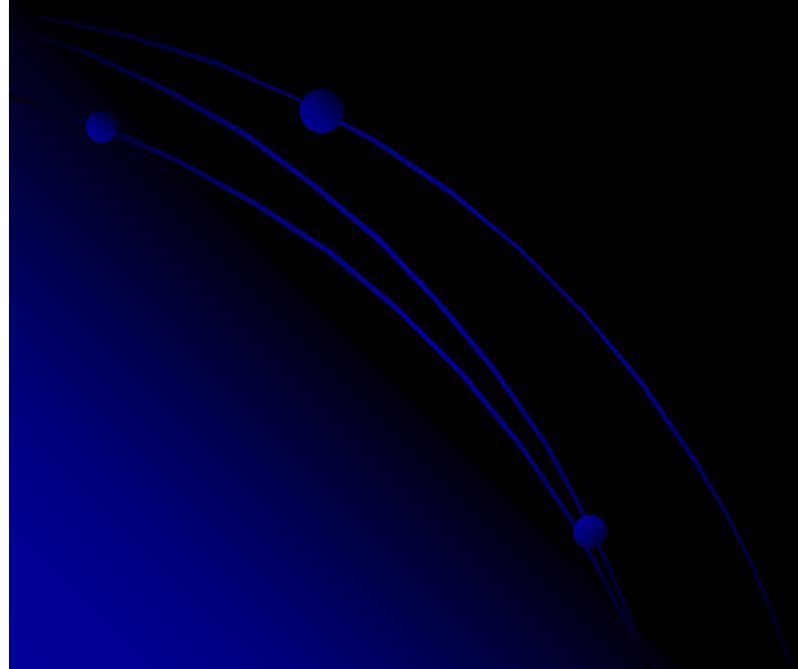
$\beta$  - 崩壊

( )内は半減期

# $^{90}\text{Nb}$ (ニオブ)



$\beta^+$ 崩壊、軌道電子捕獲

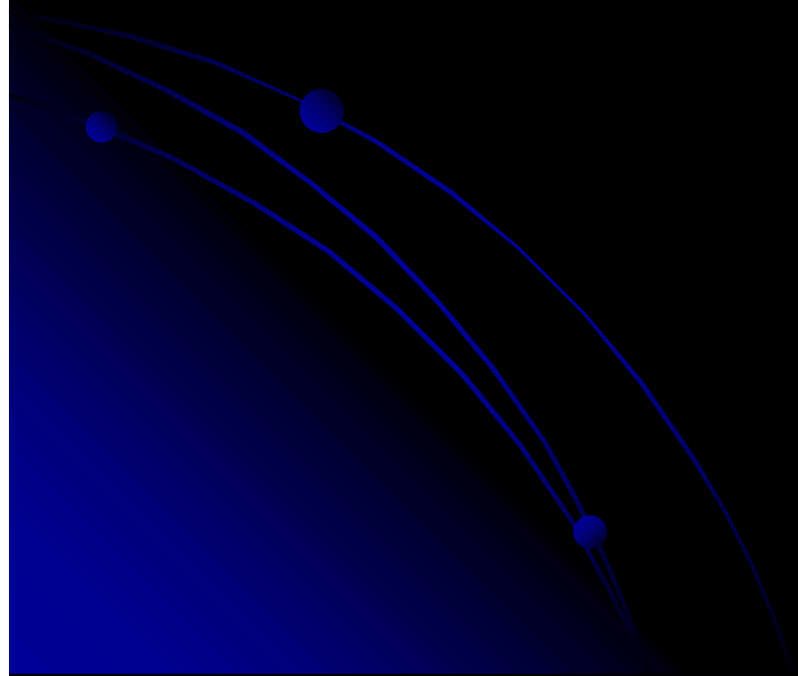


( )内は半減期

# $^{94}\text{Nb}$ (ニオブ)

$^{94}\text{Nb}$  (2万300年)  $\rightarrow$   $^{94}\text{Mo}$

$\beta$ -崩壊

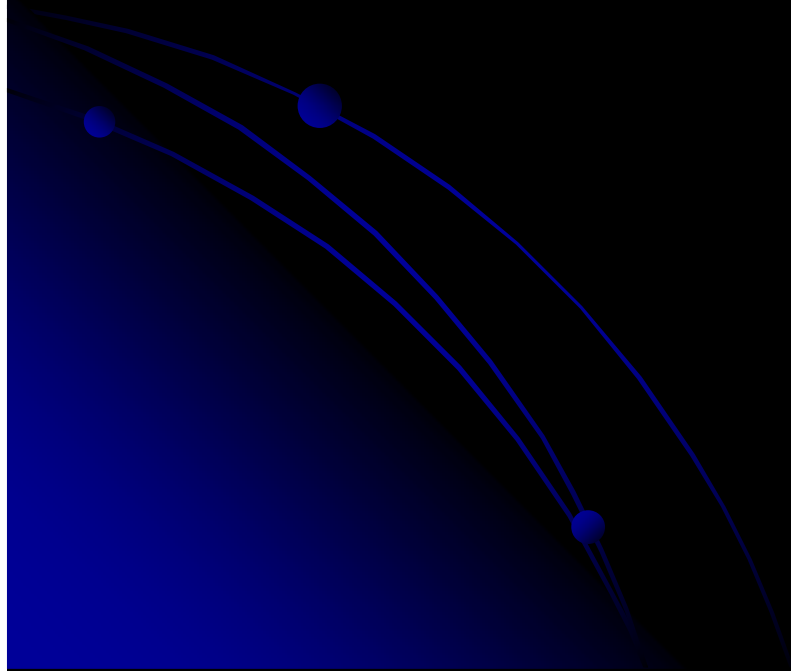


( )内は半減期

# $^{95}\text{Nb}$ (ニオブ)



$\beta$  - 崩壊



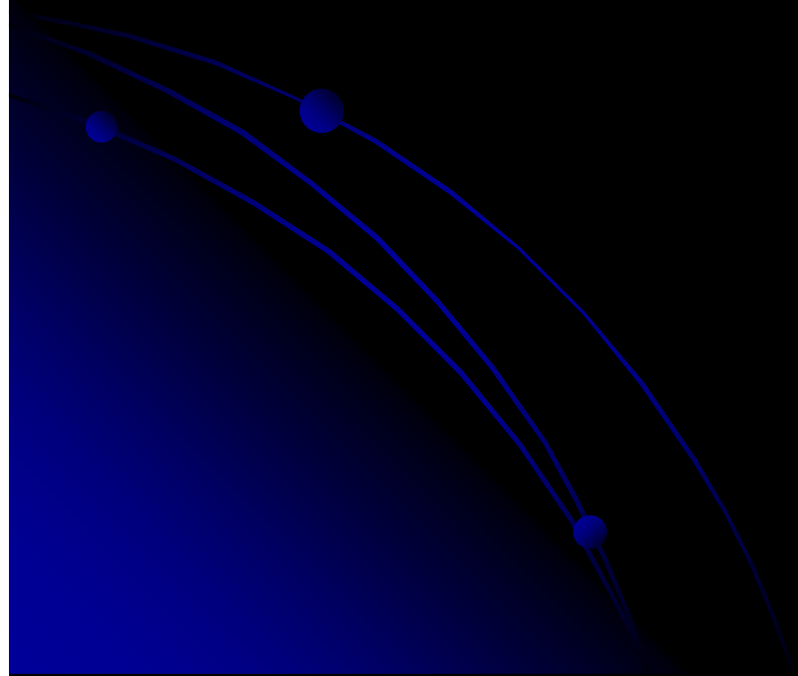
( )内は半減期



# $^{97}\text{Nb}$ (ニオブ)



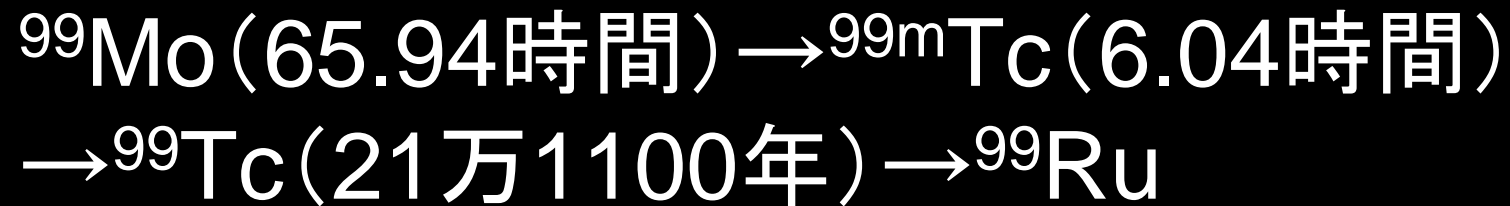
$\beta$ -崩壊



( )内は半減期

# $^{99}\text{Mo}$ (モリブデン)

$\beta$  - 崩壊



核異性体転移

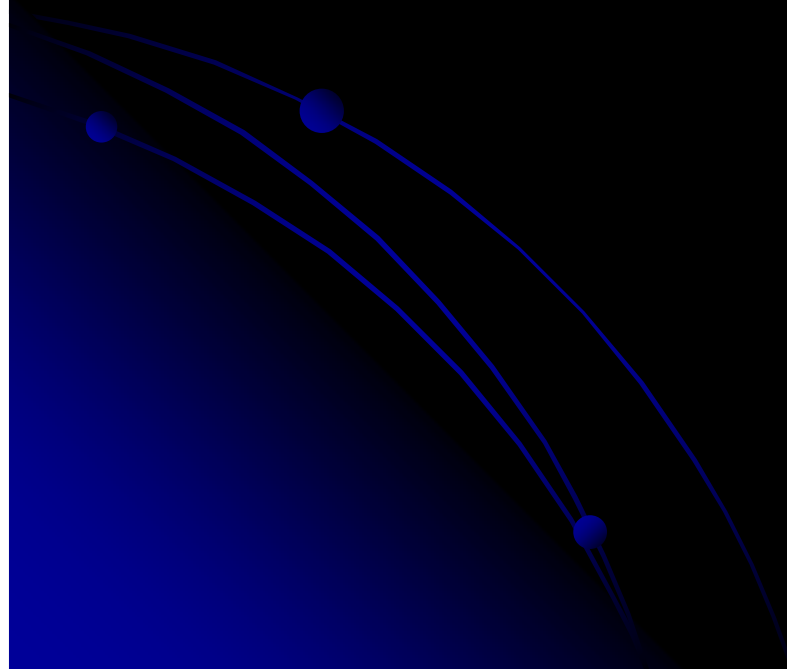
$\beta$  - 崩壊

( )内は半減期

# $^{99}\text{Tc}$ (テクネチウム)

$^{99}\text{Tc}$ (21万1100年)  $\rightarrow$   $^{99}\text{Ru}$

$\beta$ -崩壊



( )内は半減期

# $^{103}\text{Ru}$ (ルテニウム)



$\beta$  - 崩壊

核異性体転移

( )内は半減期



# $^{105}\text{Ru}$ (ルテニウム)

$\beta$  - 崩壊



核異性体転移

$\beta$  - 崩壊

( )内は半減期



# $^{99}\text{Rh}$ (ロジウム)



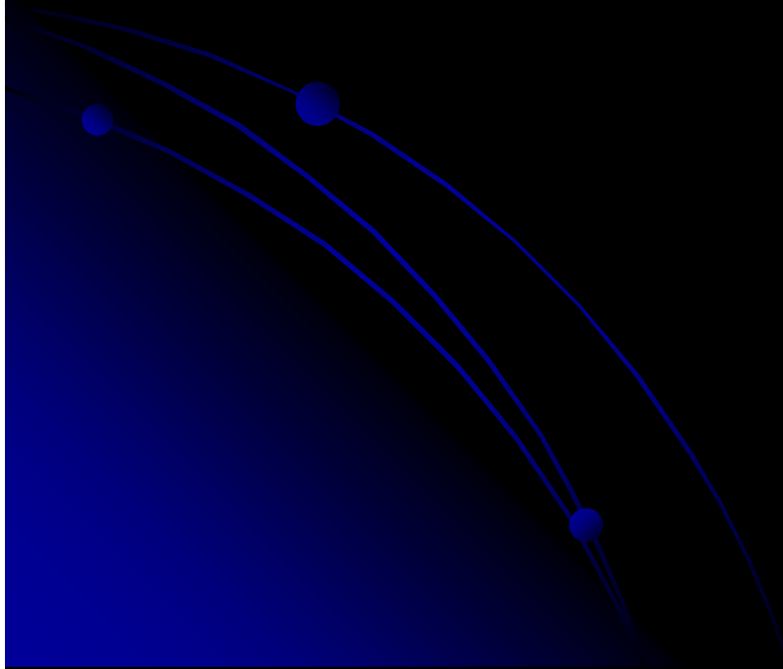
$\beta^+$ 崩壊、軌道電子捕獲

( )内は半減期

# $^{105}\text{Rh}$ (ロジウム)

$^{105}\text{Rh}$  (35.36時間)  $\rightarrow$   $^{105}\text{Pd}$

$\beta$  - 崩壊



( )内は半減期

# $^{103}\text{Pd}$ (パラジウム)



軌道電子捕獲

核異性体転移

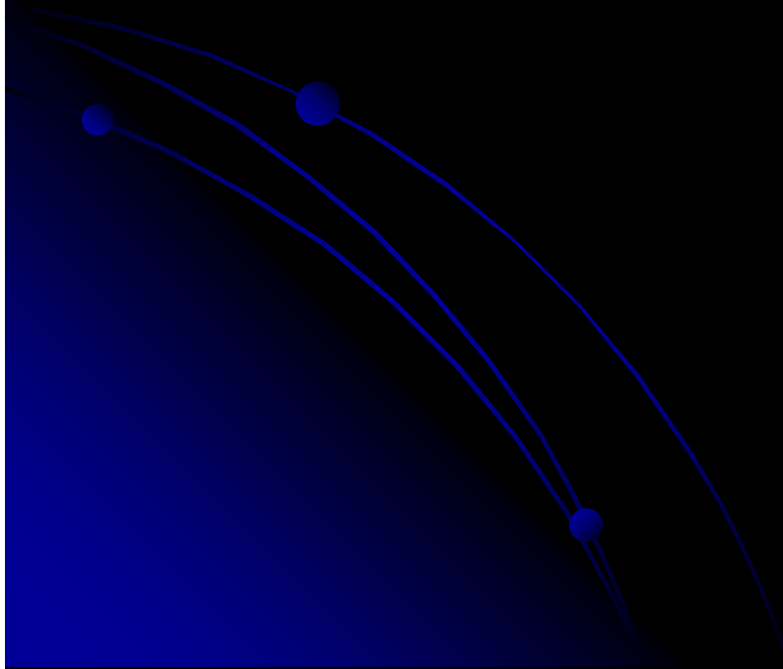
( )内は半減期



# $^{105}\text{Ag}$ (銀)



軌道電子捕獲



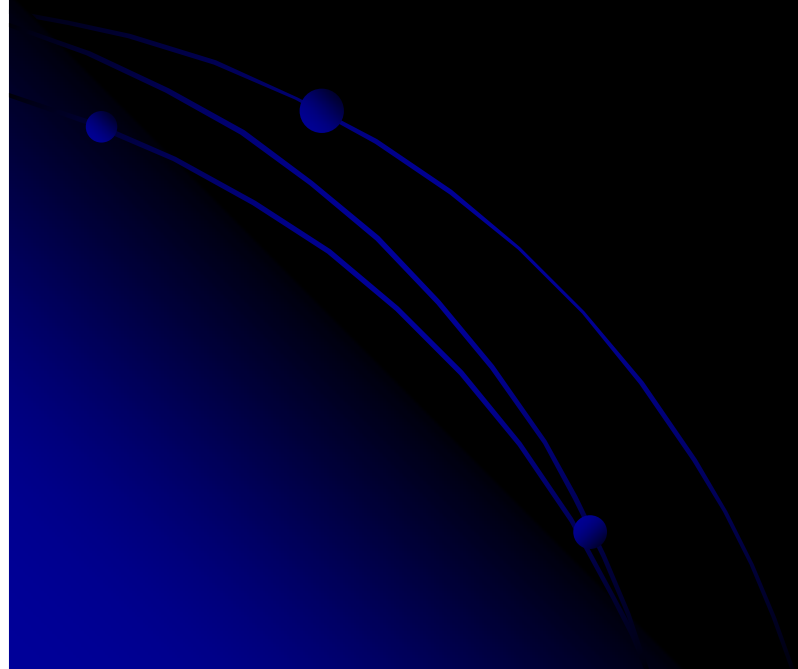
( )内は半減期

# $^{129}\text{Te}$ (テルル)



$\beta$ -崩壊

$\beta$ -崩壊



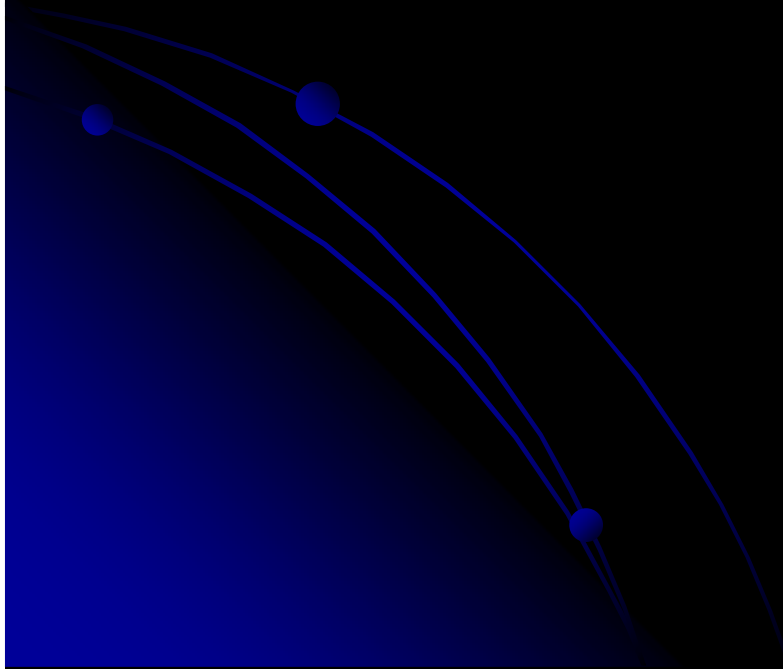
( )内は半減期

# $^{132}\text{Te}$ (テルル)



$\beta$ -崩壊

$\beta$ -崩壊



( )内は半減期

# $^{129}\text{I}$ (ヨウ素)



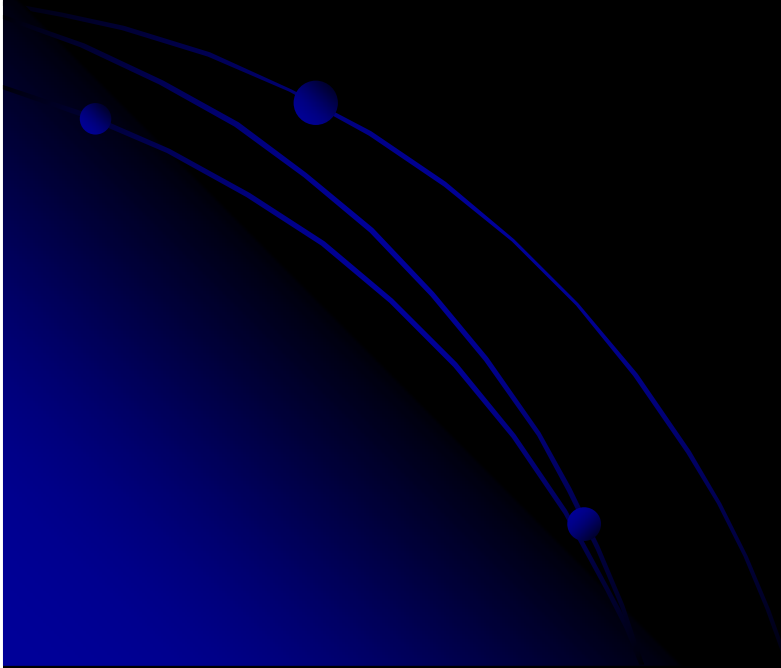
$\beta$  - 崩壊

( )内は半減期

# $^{130}\text{I}$ (ヨウ素)



$\beta$  - 崩壊



( )内は半減期

# $^{131}\text{I}$ (ヨウ素)



$\beta$  - 崩壊

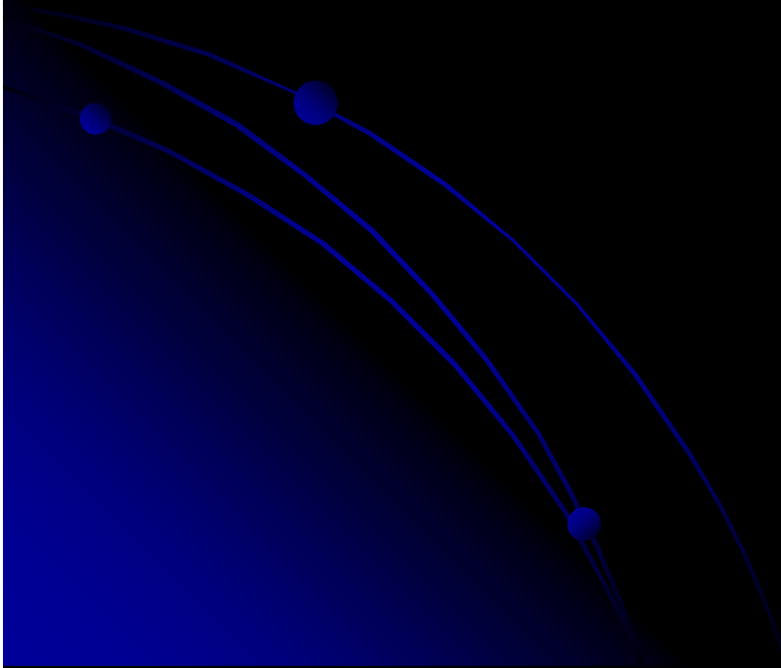
核異性体転移

( )内は半減期

# $^{132}\text{I}$ (ヨウ素)



$\beta$  - 崩壊



( )内は半減期

# $^{133}\text{I}$ (ヨウ素)

$\beta$  - 崩壊

$^{133}\text{I}$  (20.8時間)  $\rightarrow$   $^{133\text{m}}\text{Xe}$  (2.19日)

$\rightarrow$   $^{133}\text{Xe}$  (5.243日)  $\rightarrow$   $^{133}\text{Cs}$

核異性体転移

$\beta$  - 崩壊

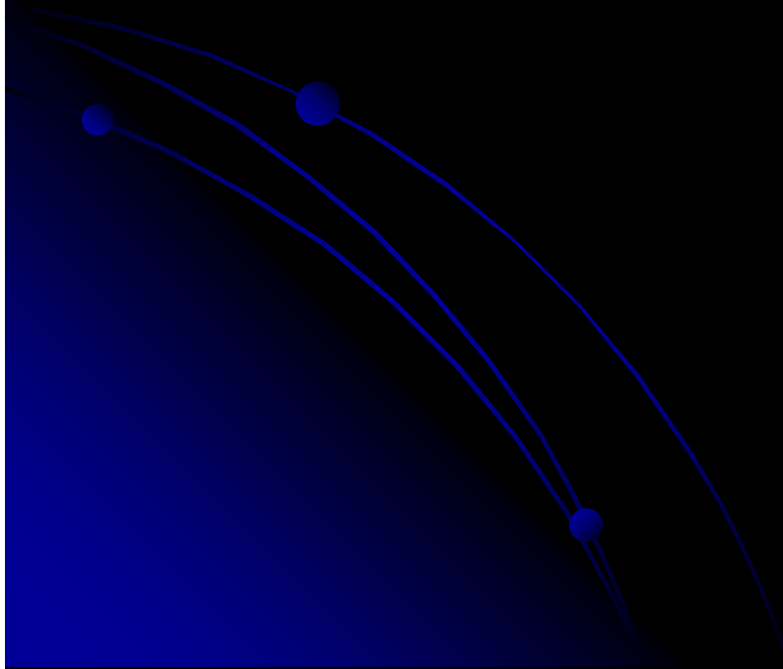
( )内は半減期



# $^{133}\text{Xe}$ (キセノン)



$\beta$  - 崩壊



( )内は半減期

# $^{129}\text{Cs}$ (セシウム)

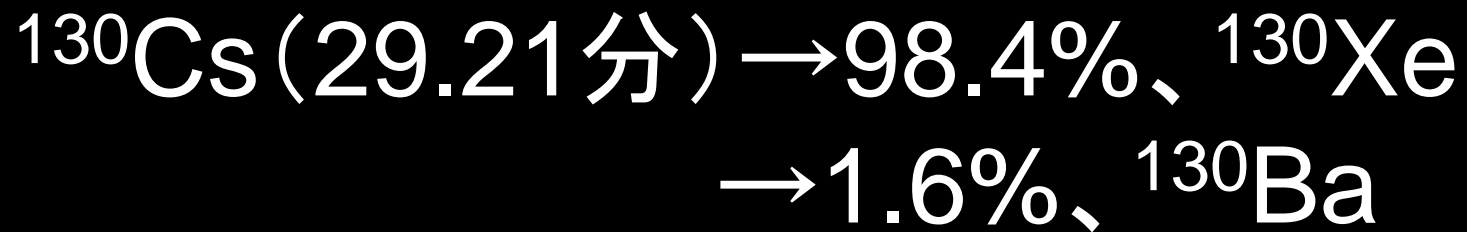


$\beta^+$ 崩壊、軌道電子捕獲

( )内は半減期

# $^{130}\text{Cs}$ (セシウム)

$\beta^+$ 崩壊、軌道電子捕獲



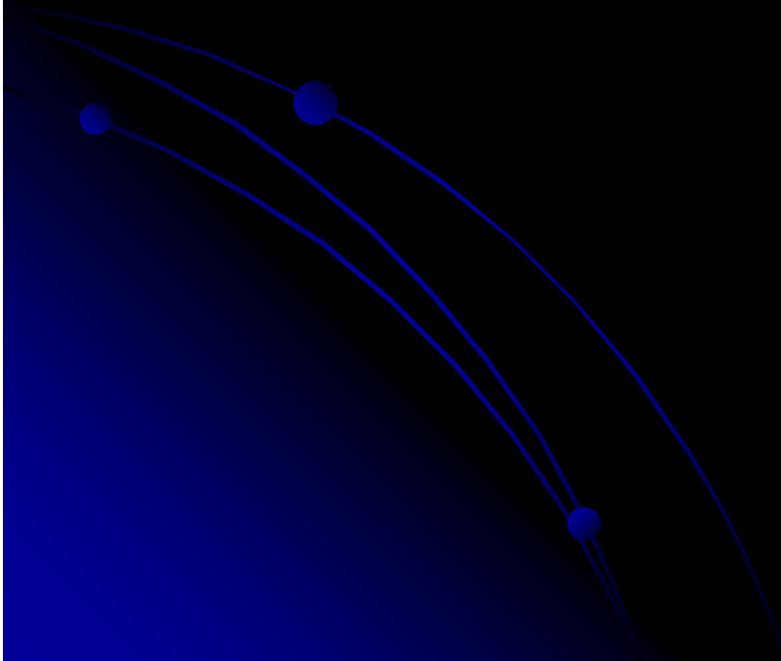
$\beta^-$ 崩壊

( )内は半減期

# $^{131}\text{Cs}$ (セシウム)



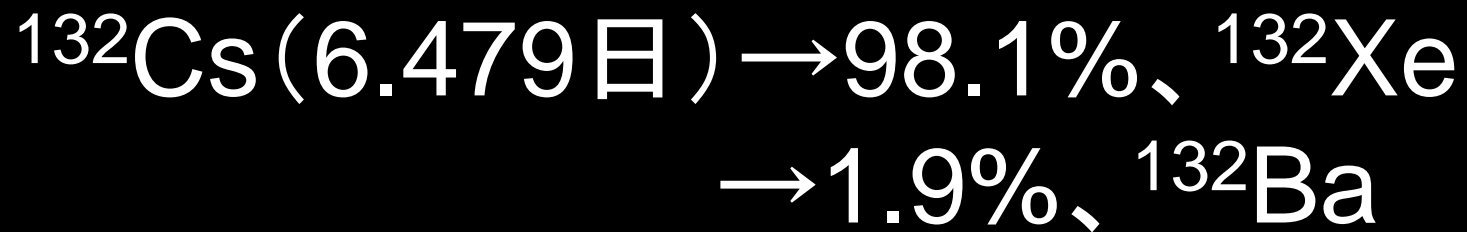
軌道電子捕獲



( )内は半減期

# $^{132}\text{Cs}$ (セシウム)

$\beta^+$ 崩壊、軌道電子捕獲



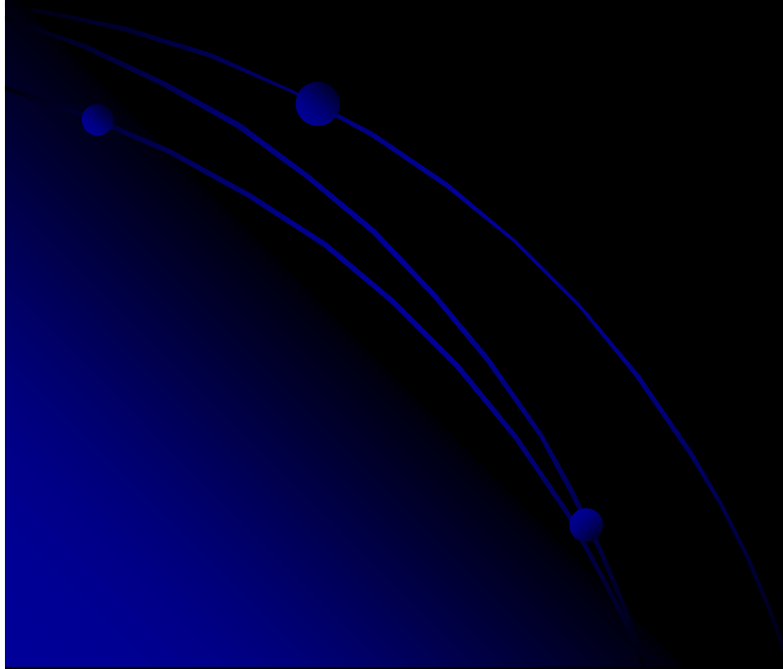
$\beta^-$ 崩壊

( )内は半減期

# $^{134}\text{Cs}$ (セシウム)

$^{134}\text{Cs}$  (2.065年)  $\rightarrow$   $^{134}\text{Ba}$

$\beta$ -崩壊

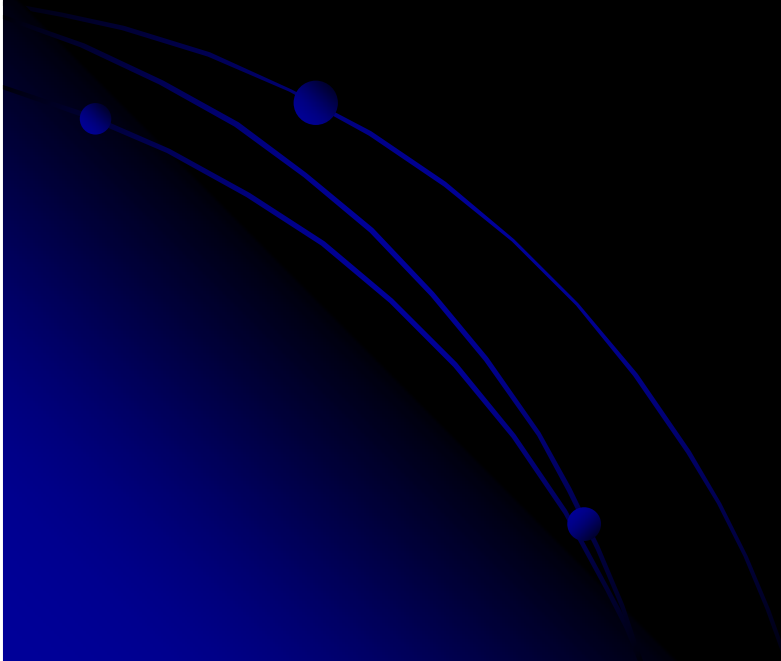


( )内は半減期

# $^{135}\text{Cs}$ (セシウム)

$^{135}\text{Cs}$  (230万年)  $\rightarrow$   $^{135}\text{Ba}$

$\beta$ -崩壊



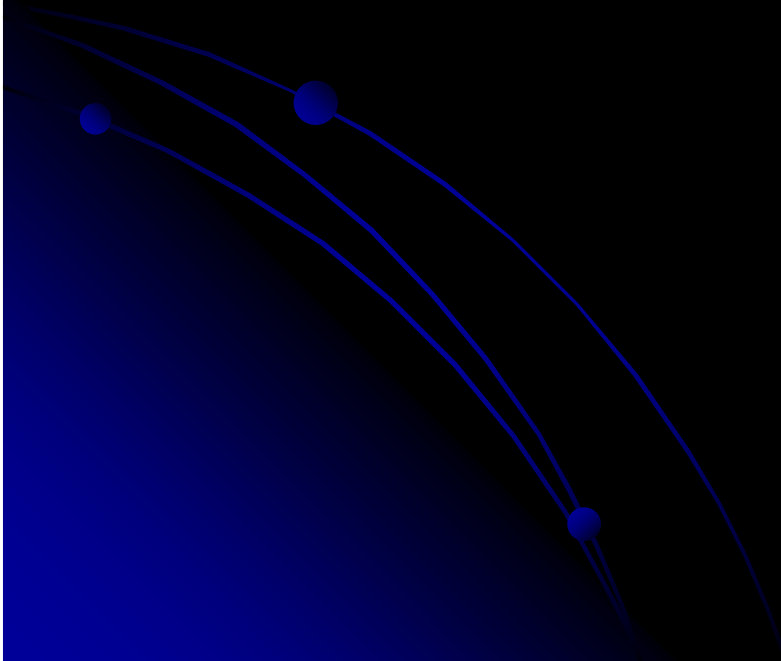
( )内は半減期

# $^{137}\text{Cs}$ (セシウム)



$\beta$  - 崩壊

核異性体転移



( )内は半減期



# $^{131}\text{Ba}$ (バリウム)



軌道電子捕獲

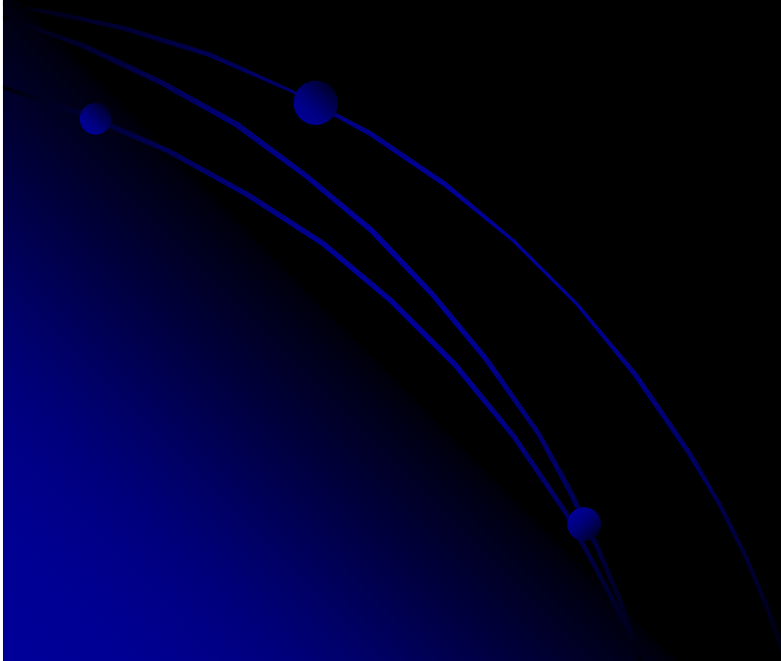
軌道電子捕獲

( )内は半減期

# $^{133}\text{Ba}$ (バリウム)

$^{133}\text{Ba}$  (10.52年)  $\rightarrow$   $^{133}\text{Cs}$

軌道電子捕獲

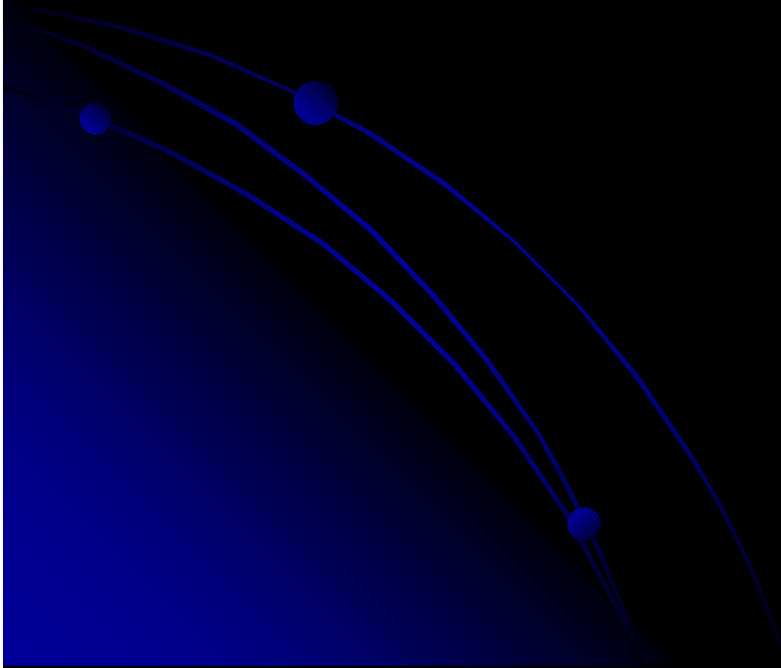


( )内は半減期

# $^{139}\text{Ba}$ (バリウム)



$\beta$ -崩壊



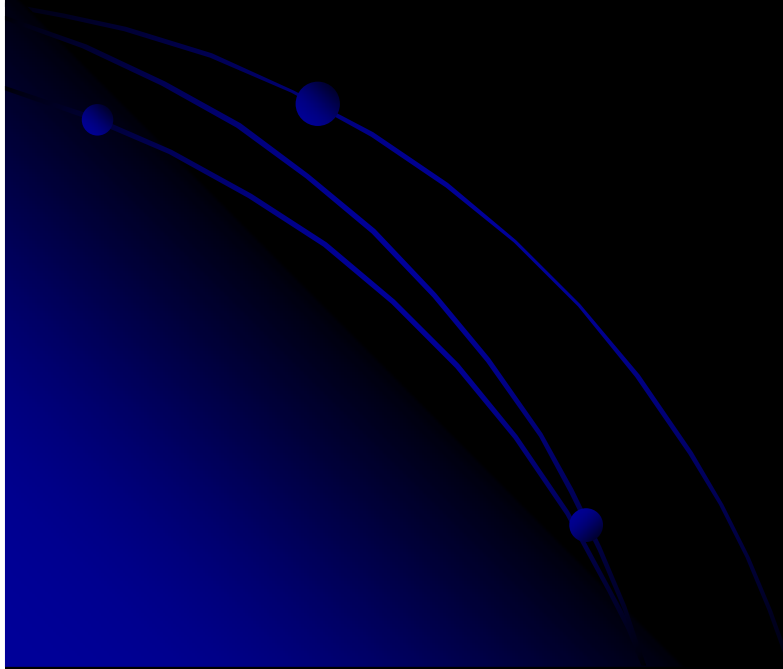
( )内は半減期

# $^{140}\text{Ba}$ (バリウム)



$\beta$  - 崩壊

$\beta$  - 崩壊

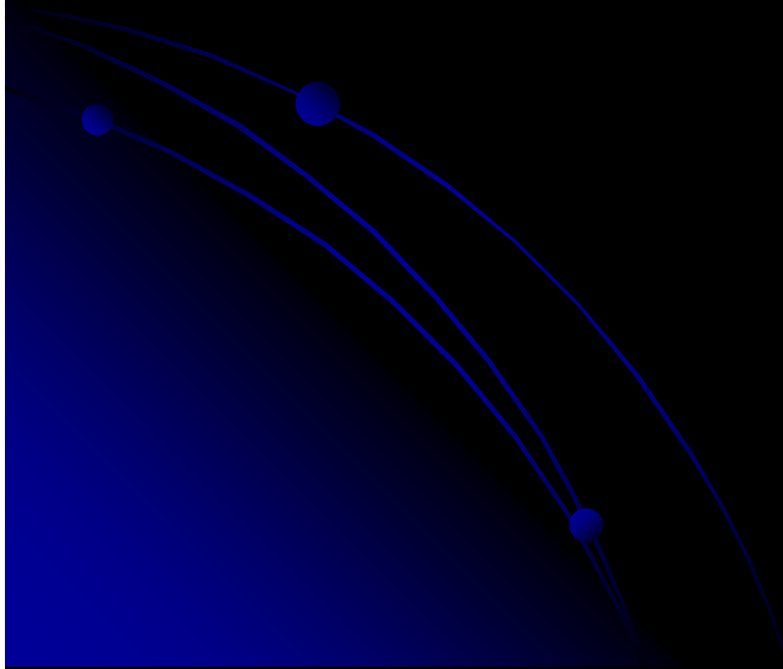


( )内は半減期

# $^{140}\text{La}$ (ランタン)



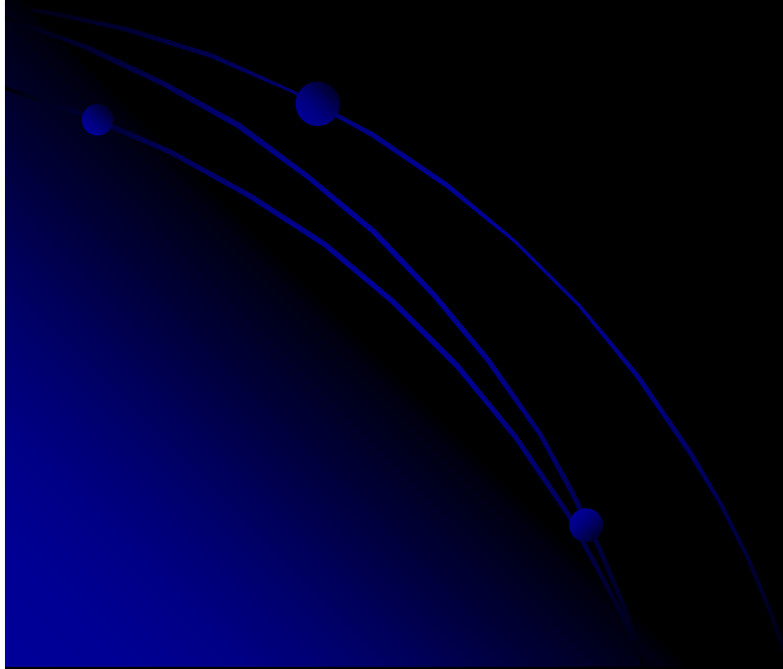
$\beta$  - 崩壊



( )内は半減期

# $^{139}\text{Ce}$ (セリウム)

$^{139}\text{Ce}$  (137.6日)  $\rightarrow$   $^{139}\text{La}$   
軌道電子捕獲

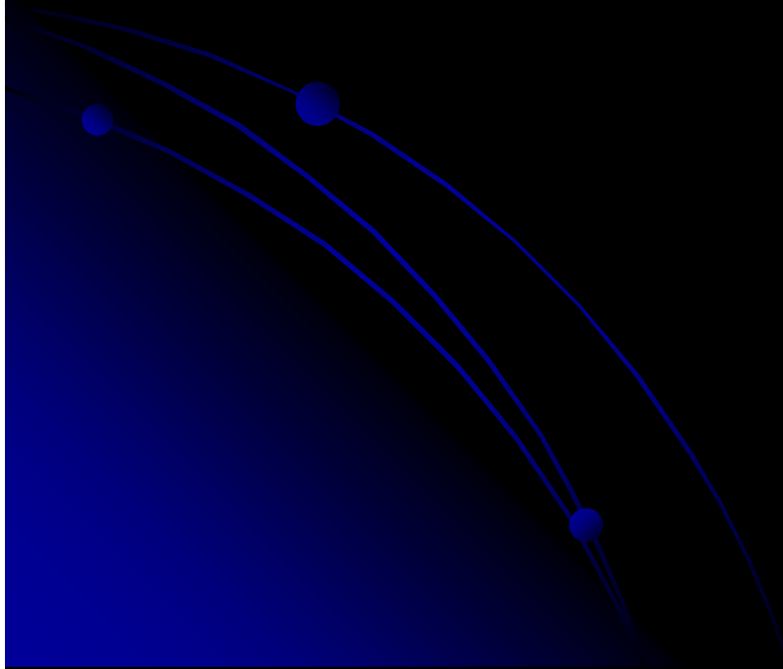


( )内は半減期

# $^{141}\text{Ce}$ (セリウム)



$\beta$  - 崩壊



( )内は半減期

# $^{143}\text{Ce}$ (セリウム)



$\beta$  - 崩壊

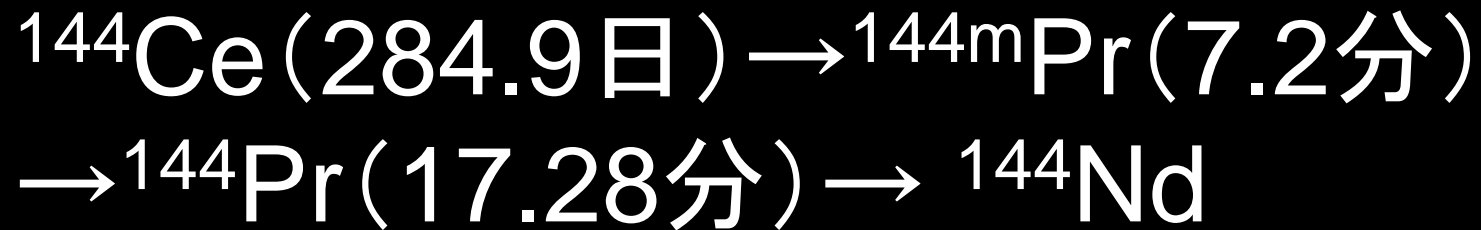
$\beta$  - 崩壊

( )内は半減期



# $^{144}\text{Ce}$ (セリウム)

$\beta$  - 崩壊



核異性体転移

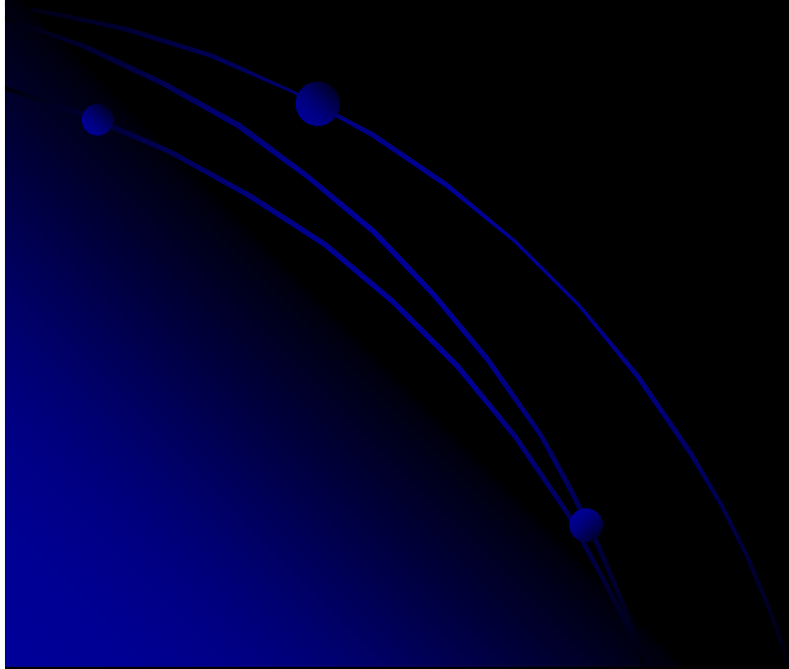
$\beta$  - 崩壊

( )内は半減期

# $^{142}\text{Pr}$ (プラセオジウム)

$^{142}\text{Pr}$  (19.12時間)  $\rightarrow$   $^{142}\text{Nd}$

$\beta$  - 崩壊

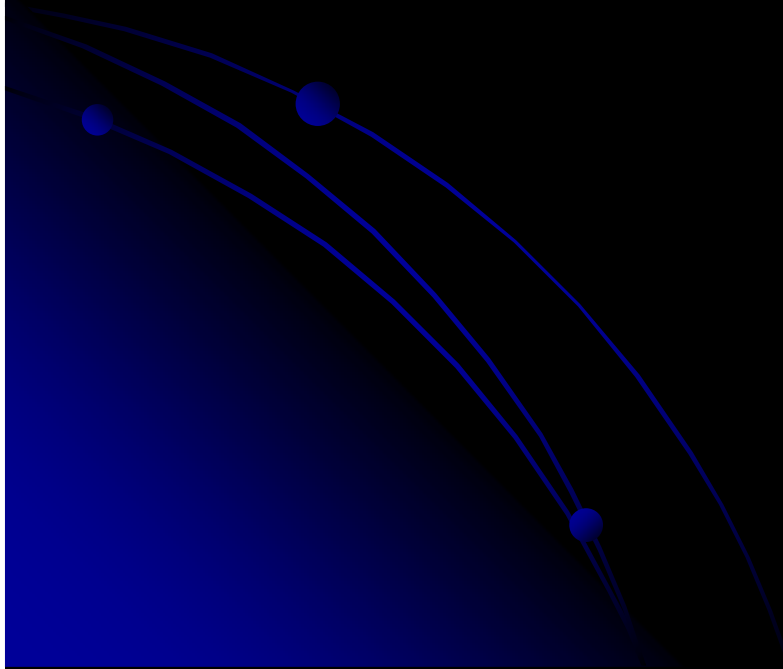


( )内は半減期

# $^{143}\text{Pr}$ (プラセオジウム)



$\beta$  - 崩壊



( )内は半減期

# $^{144}\text{Pr}$ (プラセオジウム)



$\beta$  - 崩壊

( )内は半減期

# $^{147}\text{Nd}$ (ネオジウム)



$\beta$  - 崩壊

$\beta$  - 崩壊

( )内は半減期

# $^{149}\text{Nd}$ (ネオジウム)



$\beta$  - 崩壊

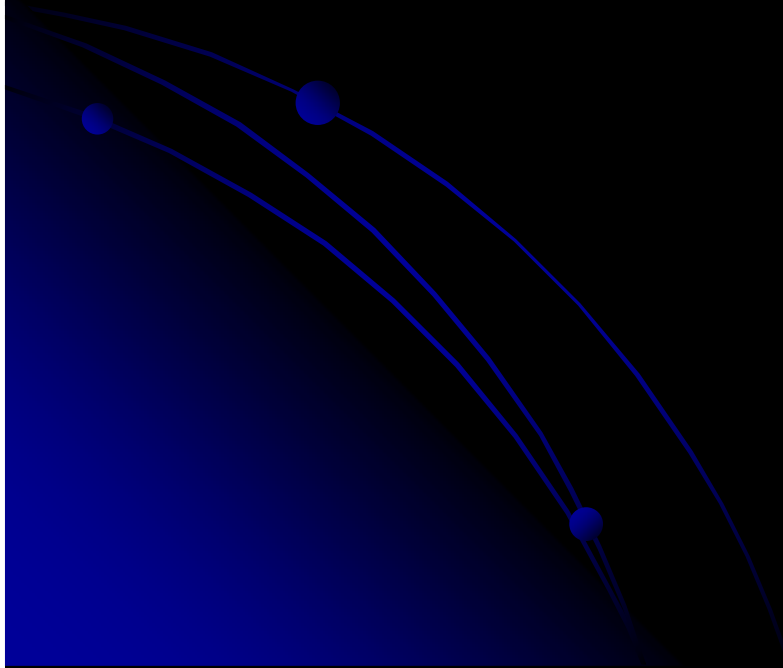
$\beta$  - 崩壊

( )内は半減期

# $^{147}\text{Pm}$ (プロメチウム)

$^{147}\text{Pm}$  (2.623年)  $\rightarrow$   $^{147}\text{Sm}$

$\beta$  - 崩壊

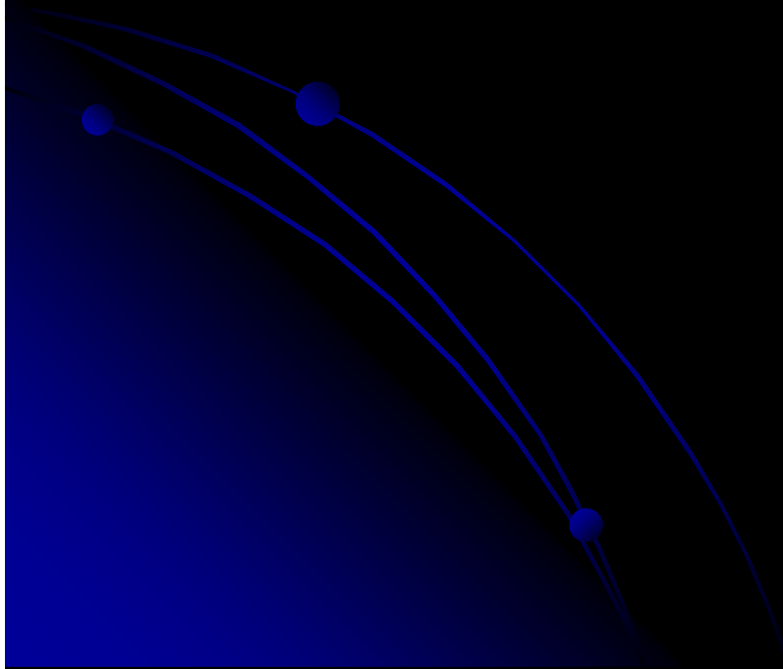


( )内は半減期

# $^{149}\text{Pm}$ (プロメチウム)

$^{149}\text{Pm}$  (53.08時間)  $\rightarrow$   $^{149}\text{Sm}$

$\beta$  - 崩壊



( )内は半減期