

本日の講義のポイント

2015.4.13 廣瀬 農

放射線の基礎

放射能とは放射線を出す能力であって、放射線そのものではない。文脈によっては放射線を出す物質を意味することもある。

放射線は原子より小さい粒子が一般的な状態の数千倍以上のエネルギーで運動しているもの（※1）。特徴的な作用は、物質を通過する際に電離（＝イオン化）を起こすこと。

粒子が電荷を持つ場合は物質中の原子を直接電離する。電荷をもたない粒子の場合、物質中の電荷をもつ粒子（電子や原子核）を弾き飛ばし、弾き飛ばされた粒子によって電離を起こす。

放射線は通過する物質に（電離などの作用で）エネルギーを付与する一方、自らはエネルギーを失う。放射線と物質の相互作用は物質の種類および粒子の種類とエネルギーによって変化する。一般的に、電荷を持たない放射線は相互作用が弱い。つまり、広い範囲に少しずつエネルギーを与えながら遠距離まで届く。

放射線は放射性物質から放出される以外に、人工的な加速によるものや、宇宙から飛来するもの（宇宙線）がある。

放射線の軌跡を見る装置の一つに霧箱がある。放射線によって生じたイオンを凝結核として、過飽和状態のアルコールが凝結することで、放射線の軌跡を視認できる。

放射性物質（放射性核種・放射性同位体）の基礎

ニュース等では放射性物質という用語が一般的だが、放射線を出すか否か（放射能を持つか否か）は個々の原子の原子核の状態によってのみ決定される。したがって、放射性核種、放射性同位体という表現を用いることも多い。

放射性核種とは不安定な核種であり、余分なエネルギーを放射線として放出することで安定化する。放射性核種が放射線を放出して安定化する過程を「壊変」という。

ある放射性核種が、壊変によって初期の半数になるまでの時間を「半減期」と言う。例えば半減期が10日の放射性核種の場合、10日後には初期の1/2、20日後には1/4、30日後には1/8が残存していることになる。

原子核の安定性は原子核を構成する陽子と中性子の数で決定される。原子核を陽子と中性子の数

で配列したものが核図表。安定核種は核図表の対角線に近い位置に分布する。ここから離れるほど不安定な（半減期の短い）核種になる（※3）。

- 大きすぎる原子核からヘリウムの原子核（陽子2個+中性子2個）が放出されて小さくなるのが α 壊変。
- 多すぎる中性子が陽子に変化し、陽子と中性子のバランスが改善されるのが β 壊変（逆に、多すぎる陽子が中性子に変わるのは $\beta+$ 壊変）。
- 余ったエネルギーを光子として放出するのが γ 壊変（ α や β と同時が多い）（※2）。
- 核分裂は壊変と異なる現象で、非常に大きい原子核でのみ起こる。核分裂片と数個の中性子が放出される。

放射性核種の量は物質質量（モル）では無く壊変の頻度で示した方が便利なことも多い。これを表す単位がベクレル（Bq）で、ひとかたまりの放射性核種の量を、毎秒何回の壊変が起きるかで示す。単位の次元は（1/s）。

- 同じベクレルで比較した場合、半減期が短い核種は物質質量が少ない。
- 同じ物質質量で比較した場合、半減期が短い核種はベクレルが大きい。

放射性核種にはいくつかの起源がある。

- 恒星内部および超新星爆発による核融合・中性子捕獲（地球の原料は主にこの過程で生成）
- 親核種の壊変（大気中の放射性ラドンは鉱物中のウラン、トリウムの壊変で生じている）
- 宇宙線と地球大気の反応
- 加速器等による人工的な高エネルギー反応（例：PET診断に用いられる ^{18}F ）
- 原子爆弾、原子力発電による核分裂・中性子捕獲

放射線・放射能測定的基础

放射線はいくつかの方法で検出・測定することができる。また、放射線を手掛かりに、試料中の放射性核種の量を測定できる。試料中の放射性核種の量を測定することを、放射能測定と表現することが多い。

代表的な検出法としては以下のようなものがある。

- 放射線の電離作用を利用して電氣的に測定する
- 蛍光体を励起する作用を利用して光学的に測定する

- 化学的な作用を用いて測定する（写真、プラスチック検出器、etc.）

単なる検出ではなく定性・定量を行う場合、どんなエネルギーの放射線が何回検出されたのか、というスペクトルを得る必要がある。

- 食品や土壌の測定を考えた場合、最も測定しやすいのは光子線、特に、核種固有のエネルギーを持つ γ 線が有用。NaI シンチレーションカウンター、Ge 半導体検出器などを用いて検出する。
- β 線は相互作用が強いため、試料中でほとんど吸収されてしまう。また、エネルギーが確率分布しているため、核種を同定するには数段階の処理が必要。
- α 線は核種固有のエネルギーを持つが、 β 線よりもさらに飛程が短いため、特殊な前処理を行わなければ定量は難しい。

※1：例外として、粒子が中性子、陽電子等の場合はエネルギーを失った後に周辺粒子と反応して放射線を出す場合もある。

※2： γ 線のエネルギーの一部が軌道電子に与えられて電子線となる場合（転換電子線）や、転換電子等の理由で電子が失われた際の電子軌道遷移に伴う X 線の発生、さらには X 線のエネルギーの一部が軌道電子に与えられて電子線となる場合（オージェ電子）もあり、1回の壊変に伴って発生する放射線の種類は数十種類となることもある。

※3：安定性は核子数偶数 > 奇数の傾向があり、陽子・中性子数が魔法数と呼ばれる数の時には特に安定性が高まるため、局所的には安定性が逆転することもある（例えば ^{137}Cs 周辺）。