

表題：放射線のための物理化学基礎 (3)

副題：放射線の種類と性質

筆者：SCE-Net 環境研究会 郷 茂夫

(化学工学会 会員)

2021年4月15日作成

前回は、原子核の壊変方式と放射線の種類の関係と放射線の実体的な姿についてお話ししました。今回は放射線だけについての横並びの性質比較についてお話しします。既に述べましたように、放射線には大区分として6種類(α線、β⁻線、β⁺線、γ線、X線、中性子線)があり、X線を除き、いずれも原子核の中から発生してくるもので、この6種類は形態も性質も大いに違います。中性子線については私たちの日常にあまり関係ありませんので説明を簡略化します。

なお、ここで言っている放射線は、地球上の私たちの生活範囲に普通に存在するものを指しており、陽子線(地球外では太陽からの強力な陽子線が吹き荒れている)は地上ではほとんどありません。また、人間が加速器などを用いて製造する医療用の重粒子線は日常の存在ではないので除外です。

1. 放射線の性格区別

ここで、放射線の分類について、放射線の性格の要素を並べますと、

- (i) 電離放射線か非電離放射線か(最重要な性格区分です) ,
- (ii) 粒子線か電磁波か,
- (iii) 荷電粒子か非電荷粒子か(電磁波は非荷電であることは言うまでもないこと) ,
- (iv) 直接電離か間接電離か.

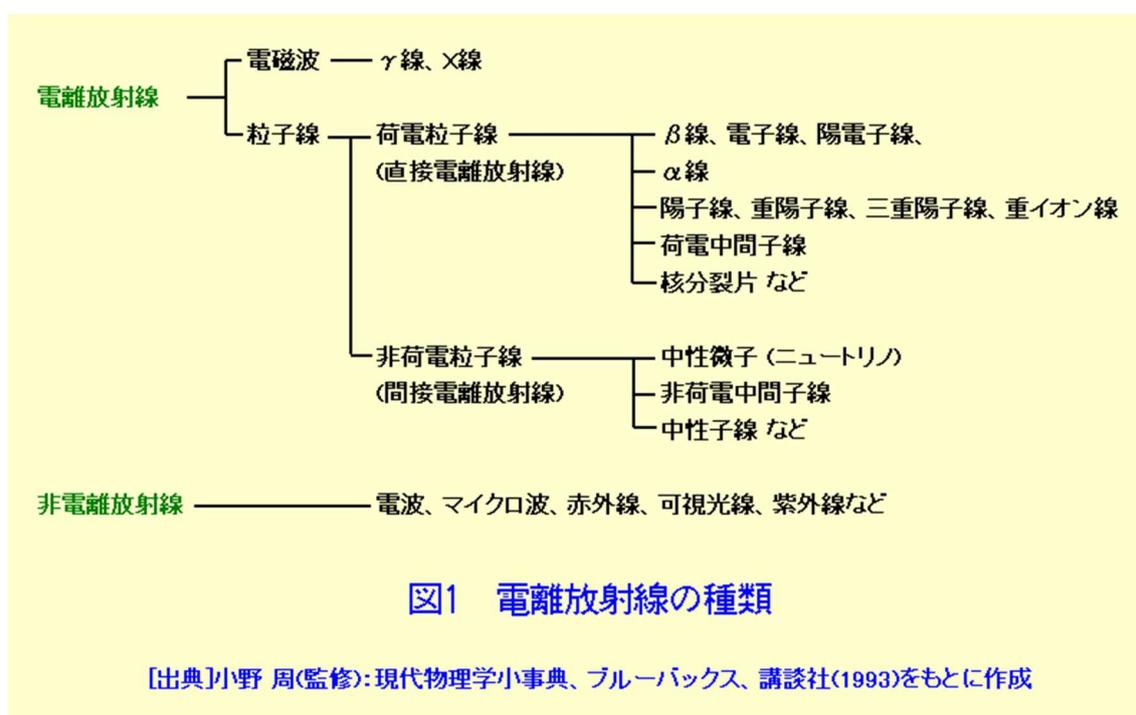
とすることで前記6種類の放射線とこの4つの性格の要素を結び付けてみてください。

電離放射線の分類図を図1に示します。

この中で、(i)の電離放射線が国内法令の規制対象であり、生体に悪影響を及ぼす可能性があり、本連載の中心的テーマの放射線であり、前記の6種類の放射線はすべて電離放射線です。但し、1 MeV以下のX線は、実質は電離放射線ですが、電離効果は弱いということで国内法令の規制からは外れています。一方、非電離放射線は、紫外線、可視光線、赤外線、マイクロウェーブ、放送波、携帯通信電波などで対象外です。紫外線(波長的に

X線と可視光線の間)の中で強いものは性質的には電離放射線と言えますし、従って生体への害を発生する場合がありますが、紫外線は全体として法令規制にはならず、本連載でも対象外です。

(iii) の非電荷粒子と (iv) の間接電離と言うのは、上記のはじめの5種の放射線には当てはまりません。当てはまるのは中性子線です。中性子線はれっきとした放射線ですが、発生する場所が限定されている事(原子炉内や核兵器製造所など)、また仮に中性子が一般空間に漏れ出てもその寿命は短い(10分とか)ので、我々の生活には影響無しと考えて本連載では細かくは取り上げません(時々図表に比較のために出ますが)。



2. 電離放射線

放射線について最も重要と言われる現象は「電離」と言うものです。それを引き起こすのが、上記の電離放射線です。電離現象につきましては、連載「放射線を測るための放射線の特殊性(1)の5。」で解説しましたので、ご覧ください。そこでも言いましたように、放射線の電離作用は、一般に、電離、解離、再結合、中和、失活(その連載の図2参照)などの関係する事象が総合した働きです。その過程で、電離現象の結果(はじき出された電子と陽イオン)のごく一部が、近隣の化学物質の結合に変異を引き起こし、それがDNAのような場合には、DNAの化学結合の構成に異常をもたらす確率があるということです。この確率の程度につきましては、後の連載で議論してみたいと思います。

3. 電離放射線の性質比較

上記を踏まえて、電離放射線を表1で整理しておきます。表下の注釈と補足説明をご覧ください。

表1：放射線の性質比較

線種	形態 (*1)	質量数比 (*3)	電荷 (*4)	速度比 (*5)	エネルギー 幅 (*6)	透過力 (*7)
α線	He 原子核	4	+2	約 1/10	4 --- 7	小
β-線	電子	1/1800	-1		0.05 --- 3	中
β+線	陽電子	同上	+1		0.51	中
γ線	電磁波	0	0	1:光速と同じ	0.01 --- 3	大
X線	電磁波	0	0	1:光速と同じ	0.001 - 0.03	大
中性子線 (*8)	中性子	1	0		低から超高速 まで広い	大 (水で吸 収される)

なお、表1の横欄のもう一つ、電離密度を明確に示す電離放射線の線種の差異として、**LET**（線エネルギー付与；飛程の単位長さ当りに平均して失う エネルギー；Linear Energy Transfer, J/m）を加えたかったのですが、連載「放射線を測るための放射線の特異性(2)」で詳述しましたので、参照ください。

(表の項目の注釈)

*1: 連載(2)で解説済み。

*3: pおよびnを1とする；両者の質量には若干差がある(nの方がわずかに重い)が、質量数では同じとする扱いである。

*4: 素電荷電(電子1個の持つ電荷)1とした場合の比率。

*5: 光速を1とする。

*6: 単位は MeV. (1MeV = 1,000 keV = 1,000,000 eV)

*7: 放射線の透過力という用語は、この欄では一般的な物質透過力と言う意味で使ったもの。以下の補足を参照。

*8: この表では参考のため、中性子線を入れている。

わかりにくい箇所があるので、ちょっと補足説明します。

- よく「何々線」(よく放射線の絵で、ギザギザ線を描がいたのがあるが)と言いますが、1点が移動していく軌跡のことで、放射線という線が長く尾を引いて移動しているわけではありません。

- 電離方式；電離については、連載「放射線を測るための放射線の特殊性 (1)」にて詳述しています。
- α線はヘリウム原子核と書いていますが、連載 (1) の図1原子モデルで示しましたように、ヘリウム原子の外側の電子を全部はぎ取ったものですから、α線はその大きさは原子核のみとなり、原子に比べてずっと小さいものです。
- 電子1個の電荷は定義されており、記号は「e」で表し、 $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ (クーロン)です。それを電荷素単位と言います。
- 放射線は高いエネルギーを持っています。理由は、粒子はかなりの高速で走っているため、高い運動エネルギー $(1/2) \cdot m \cdot v^2$ を持っており、α線は重く、速度は相対的に遅いですが、エネルギーは高いです。γ線、X線は電磁波の中で最も波長が短く、電磁波は波長が短い (= 振動数 ν が大きい) ほどエネルギーは高くなります ($E = h \cdot \nu$) 。
- 表1のエネルギーの幅は、主要な核種のエネルギーの幅です。
- 透過力は、正確な用語では、α線、β線、中性子は「飛程」と言います。電磁波であるγ線、X線は「透過力」と言います。特にα線、β線、中性子の最大到達距離を「飛程」と言います。

(連載 014 終わり)