

「やっかいな放射線と向き合って暮らしていくための基礎知識」 資料

田崎晴明

本日は講演会にご出席いただきありがとうございます。

この資料では、講演を聴いている途中で混乱しそうな記号などについて簡単にまとめ、それから、講演についての細かい（という理系的な）補足をいくつか書いておきます。

1 講演を聴く際に役立つこと

1.1 元素記号

ぼく自身が化学に疎いので、元素記号はほとんど出てこないが、以下の三つは、断りなくでてくるところがある。

He ヘリウム、Cs セシウム、K カリウム

1.2 単位

理系でない人は、以下の単位だけを知っていれば講演を聴くためには十分だと思う（いくつかの単位のより詳しい関係については、2.5節をどうぞ）。

mSv ミリシーベルト：放射線被ばくによる体への影響をあらわす単位。「世界平均では、自然な被ばくは1年間で2.4 mSv」のように使う。

$\mu\text{Sv/h}$ マイクロシーベルト毎時（ぼくらは「マイクロシーベルト・パー・アワー」と読んでしまうことが多い）：放射線の強さを表わす単位。1 $\mu\text{Sv/h}$ の放射線を1時間あびていると、1 $\mu\text{Sv} = 0.001 \text{ mSv}$ の被ばくをする。

Bq ベクレル：放射性物質の量を表わす単位。

kBq キロベクレル：1 kBq = 1000 Bq のこと。

Bq/m^2 ベクレル毎平米：地面の汚染を表わす単位。1 m^2 （1平方メートル）の地表にある放射性物質の量。

eV エレクトロンボルトまたは**電子ボルト**：小さなエネルギーの単位だけれど、気にしないでいい。詳しくは2.3節をご覧ください。

2 講演への補足

2.1 参照 web ページ

今回の講演に関連する様々な話題は、私が書いた「放射線と原子力発電所事故についてのできるだけ短くてわかりやすく正確な解説」という（実は、それほど短くない）公開の解説に書いてあります。講演とは別に、興味をもったところをお読みいただければ幸いです。

アクセスするには、Googleで「放射線と原子力発電所事故」と検索すれば上位に出てくるので、それが楽。あくまで、URLを打ちこみたい人は、

<http://www.gakushuin.ac.jp/~881791/housha/>

です。

2.2 なぜ「一年」が5000時間か？

「応用編1」のところで、年間の被ばく量の「公式」の算出法では1年間を5260時間とみなすことを書いた。その理由は以下のとおり。

普通の人、一日24時間のうち、8時間を外で過ごし、16時間を屋内で過ごすとして仮定する。そして、屋内では放射線が建物の遮蔽効果で4割の大きさに減ると仮定する。

これは、一日の長さが24時間ではなく、

$$8 + 16 \times 0.4 = 8 + 6.4 = 14.4$$

時間になった（そして、ずっと屋外での強さの放射線を浴びる）のと同じことになる。よって、ここに一年の日数をかけて、

$$14.4 \times 365 = 5256 \approx 5260$$

時間としたというわけだ。

しかし、こういう風にならざるを得ないのはICRPの精神に反している¹。被ばく量は個人の生活の仕方によって大きく変わるので、そこをきちんと考えて線量を評価するのが正しいやり方だ。

¹ICRP（国際放射線防護委員会）は非政府の科学者の組織だが、日本政府もICRPの勧告を尊重することになっているはず。

2.3 エネルギーのこと

講演の中で「エネルギー」という言葉が出てきたけれど、ちゃんと説明している余裕がなかった。ここで、なるべくやさしく、それでも正確な説明をしてみたい。

木の枝になっていた林檎の実が、何かの拍子に落ち来て頭にあたったら、痛い。あるいは、同じ林檎の実をダルビッシュが思いっきり投げたのが頭にあたったら、たぶん痛いどころではすまない。では、林檎の実にぼくらに「痛み」を与える能力があるかということ、そんなことはない。同じ林檎の実を頭の上に乗せていても別に痛くはない。

言うまでもなく、ダルビッシュの投げた林檎が痛いのは、林檎が「速さ」を持って飛んで来るからだ。林檎に速さがあれば、ぼくらを「痛い」と思わせる能力、あるいは、ぼくらにダメージを与える能力を持つようになる。この「能力」が「エネルギー」（より正確には、運動エネルギー）だ。

運動エネルギーは厳密に数値で表わすことができる（だからこそ物理になるわけだ）。

質量（重さ）が m の物体が速さ v で飛んでいるときの運動エネルギーは、

$$\frac{1}{2} \times m \times v^2$$

に等しいと定める。重さを kg で、速さを m/秒で測ったときのエネルギーの単位を J（ジュール）という。

物体の種類や重さが違って、同じ 1 J の運動エネルギーを持っていれば、ぼくらに同じダメージを与える「能力」をもっていることになる²。

大きめな 340 g の林檎が 30 cm の高さから落ちこちてきたときにもっている運動エネルギーがちょうど 1 J である。あるいは、1 J のエネルギーで 1 g の水を暖めると温度が 0.2 度くらい上がる。そういう意味で、J（ジュール）は日常的な世界でのエネルギーを表わすのに手頃な単位である。

講演のなかで出てきた eV（エレクトロンボルト）は、原子・分子などの小さな世界での出来事を表わすのに手頃なエネルギーの単位だ。もともとの定義は「電子 1 個を 1 V の電圧で加速したときの運動エネルギー」で、J との関係は、

$$1 \text{ eV} \simeq 1.6 \times 10^{-19} \text{ J} = 0.00000000000000000016 \text{ J}$$

である（ 10^{-19} という書き方については、すぐ次の節で解説する）。

やたらと小さなエネルギーだけれど、もっている意味は同じ。たとえば、水素分子二つと酸素分子が一つ反応するとき 5 eV のエネルギーが出てくることをみた。これは、 $8.0 \times 10^{-19} \text{ J}$ という小さな値だ。それでもこの反応がいっぱいおこれば、その合計が 1 J になるようにできる³。この化学反応ででてくるエネルギーを使えば、水 1 g の温度を 0.2 度だけ上げられる

²といっても、頭にあたったときの「痛み」は材質や形にも大きく影響されるので、この「たとえ」はあまりよくない。頭ではなくて、ショック吸収素材みたいなものにつけて、運動をすべて熱に変えたとすると、発生する熱量は正確に等しい。

³水素分子 2.5×10^{18} 個と酸素分子 1.25×10^{18} 個を反応させればいい。

ということだ。

放射線がもっているエネルギーの話では、MeV (メガ・エレクトロンボルト⁴) という単位が出てきた。定義は、

$$1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV} \simeq 1.6 \times 10^{-13} \text{ J} = 0.00000000000016 \text{ J}$$

だ。eV の百万倍なのだが、それでも日常的な J (ジュール) に比べるとすごく小さい。

たとえば、「セシウム 137 から 0.6 eV のガンマ線が出る」という話があった。これは、すごく小さな世界でのすごく小さなエネルギーの出来事だけれど、基本的には、最初にみたダールビッシュの投げた林檎が痛い話と同じだと思ってい。セシウムからでた光子一個が 0.6 MeV という「ダメージを与える能力」を持っているということなのだ。

野尻さんの講演に「スペクトル」という言葉がしょっちゅう出てきたらうから、少しだけ補足しておこう。

放射性物質からは、様々なエネルギーを持った粒子が飛び出してくる。「スペクトルを測る」というときには、放射性物質から出てくる粒子の個数を数えるだけではなく、粒子のエネルギーもきちんと見てやるのだ。そして、「これくらいのエネルギーの粒子が何個くらいでできた」ということを調べる。その結果を、グラフに表わしたのが、いわゆる「スペクトル」だ。

放射線のスペクトルを見ることで、どのような放射性物質がどれくらいあるかについて、かなり詳しいことがわかる。

2.4 10 のべき乗の書き方

ごく簡単に解説します。もっと丁寧な説明が見たい人は、上で紹介した web の解説のなかの記事「10 のべき乗 — 大きい数と小さい数の表わし方」をご覧ください。

大きな数を、10 を何回もかけあわせたものとみなして、

$$1000000 = 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 = 10^6 \quad (1)$$

のように書く。左端の書き方のゼロの個数がちょうど 6 になっている。また、「お約束」として、 $10^0 = 1$ と書く。さらに、1 より小さい数についても、

$$0.0001 = \frac{1}{10000} = \frac{1}{10^4} = 10^{-4} \quad (2)$$

のように書く。左端で、小数点より左のゼロも含めたゼロの個数がちょうど 4 個になっている。

⁴ 「メブ」と読んでしまうことが多い。

この書き方をすると、かけ算がすごく楽になる。

$$\begin{aligned} 10^4 \times 10^2 &= 10^{4+2} = 10^6, & 10^{-3} \times 10^{-5} &= 10^{-3-5} = 10^{-8} \\ 10^6 \times 10^{-2} &= 10^{6-2} = 10^4, & 10^{-123} \times 10^{109} &= 10^{-123+109} = 10^{-14} \end{aligned} \quad (3)$$

みたいに、ベキの部分を（正負を考えて）足し算すればよい⁵。

自然科学で数値（ここでは正の量とする）を表わすとき

$$(1 \text{ 以上 } 10 \text{ 未満の数}) \times 10^{\text{整数}} \quad (4)$$

のように書くのが一般的。たとえば、 1.23×10^4 は、 $1.23 \times 10000 = 12300$ だし、 2.56×10^{-3} は 0.00256 のこと。そもそも 6.02×10^{23} なんて、普通の書き方で書く気にはならない。

なお、添え字を書けないときには、 6.02×10^{23} のかわりに $6.02\text{E}23$ または $6.02\text{e}23$ のように、 2.56×10^{-3} のかわりに $2.56\text{E}-3$ または $2.56\text{e}-3$ のように書くこともある。今回のスライドでも IAEA の表を写すところでこれを使った。Twitter などではこの書き方が普通。

(4) のような書き方の数どうしの割り算、かけ算に慣れておくと便利。かけ算は順番を変えてもいいことを利用して、

$$(6.02 \times 10^{23}) \times 3.42 \times 10^{-3} = (6.02 \times 3.42) \times (10^{23} \times 10^{-3}) = 20.5884 \times 10^{20} \simeq 2.06 \times 10^{21} \quad (5)$$

のようにやる。最後は数字を (4) の書き方になるように変形し、また、有効数字 3 桁で四捨五入した。

割り算も同様。

$$\frac{1}{10^n} = 10^{-n} \quad (6)$$

であることに注意して（ここで n は正負の整数）、たとえば、

$$\frac{2.36 \times 10^{24}}{6.02 \times 10^{23}} = \frac{2.36}{6.02} \times 10^{24-23} \simeq 0.392 \times 10 = 3.92 \quad (7)$$

のようにやればいい。

2.5 単位の換算

メートル (m) のような基本の単位に、マイクロ (μ)、ミリ (m)、キロ (k)、メガ (M) などをくっつけて、キロメートル (km) のような単位を作るやり方はどこにでもでてくる。

⁵足し算そのものは、 $10^4 + 10^2 = 10000 + 100 = 10100$ みたいになって、別にきれいにはならない。

放射線関連のシーベルト (Sv) の場合、1 Sv の被ばくはというのは (原子力施設での事故でないかぎり) 大きすぎるので、ミリシーベルト (mSv) とマイクロシーベルト (μ Sv) がよく用いられる。これらの関係は以下のとおり。

$$\begin{aligned} 1 \text{ Sv} &= 10^3 \text{ mSv}, & 10^{-3} \text{ Sv} &= 1 \text{ mSv} \\ 1 \text{ Sv} &= 10^6 \mu\text{Sv}, & 1 \text{ mSv} &= 10^3 \mu\text{Sv}, & 1 \mu\text{Sv} &= 10^{-3} \text{ mSv} = 10^{-6} \text{ Sv}, \end{aligned} \quad (8)$$

一方、ベクレル (Bq) の場合、1 Bq というのは小さすぎることが多いので、キロベクレル (kBq)、メガベクレル (MBq) などを使う。これらの関係も、以下のとおり。

$$\begin{aligned} 1 \text{ kBq} &= 10^3 \text{ Bq}, & 10^{-3} \text{ kBq} &= 1 \text{ Bq}, \\ 1 \text{ MBq} &= 10^3 \text{ kBq} = 10^6 \text{ Bq}, & 10^{-3} \text{ MBq} &= 1 \text{ kBq}, & 10^{-6} \text{ MBq} &= 1 \text{ Bq} \end{aligned} \quad (9)$$

具体的な換算は、上の関係で単位を置き換えて、

$$\begin{aligned} 2365 \mu\text{Sv} &= 2365 \times 10^{-3} \text{ mSv} = 2.365 \text{ mSv}, \\ 0.00000053 \text{ Sv} &= 0.00000053 \times 10^6 \mu\text{Sv} = 5.3 \mu\text{Sv} \end{aligned} \quad (10)$$

あるいは、

$$83400 \text{ Bq} = 83400 \times 10^{-3} \text{ kBq} = 83.4 \text{ kBq} \quad (11)$$

のようにすればいい。