

放射線環境学第2回講義Q & A

廣瀬 農

※コメント、意見についても便宜上「Q」と表記しています。

1. 放射線に関して

■ニュートリノ

Q：反電子ニュートリノ、電子ニュートリノとは何ですか？

A：少し種類は違いますが、両方ともニュートリノという粒子です。ニュートリノは物質とほとんど相互作用を起こさず、したがって被ばくにはほとんど関係ありません。詳細については「スーパーカミオカンデ」の公式サイトなどを参考にして下さい。

■中性子線・陽子線の発生

Q：中性子線や陽子線などはどのような状況で発生するのか詳しく知りたい。

A：中性子の発生源として代表的なものは核分裂です。他には宇宙線でも生成し、航空被ばくには宇宙線由来の中性子も寄与することが知られています。

陽子線は陽子（＝水素イオン）を加速器で加速することで得られるため、放射線治療などに利用されています。天然の陽子線としては、太陽風の大部分が陽子線であることが知られています。

■ γ 線の観測法

Q： γ 線はどのように観測するのでしょうか？

A：第3回講義で少し詳しく説明します。半導体センサーで放射線が起こした電離を測定する方法や、発光性の結晶をセンサーとして、放射線が発生させる光を計測する方法が主流です。

■光子とは

Q：光子とはどんな粒子ですか。

A：答えるのがとても難しい質問です。電子が電気の最小単位であるように、光の最小単位である、という答えではいかがでしょうか？

■ β +壊変の放射線

Q： β +壊変では陽電子の放出も β 線になりますか？ならなければどんな放射線になりますか？

A：陽電子が放射線として放出されます。この放射線の名前ですが、広義では「 β 線」、狭義では「 β +線」、粒子名からは「陽電子線」という名前になると思うのですが、実際には単に「陽電子」と呼ばれることが多いです。

■ α 線と β 線

Q： α 線が陽子を含んでいて β 線が電子ならば、二つは逆の性質を示すのでしょうか。

A：電氣的には逆の性質です。講義の最後に流したビデオの冒頭に出てきましたが、放射性同位体から出てくる放射線のうち、正電荷を持ったものを α 線、負電荷を持ったものを β 線、電荷が無いものを γ 線と名付けたという歴史的経緯があります。

■放射線と原子核のエネルギー分配について

Q： α 線や β 線を放出した時に、その反動を受けて原子自身も運動エネルギーを持つなど、考慮できていないエネルギーもあることを考えさせられた。

A：講義では省略しましたが、厳密な考察を行う際には必要となる要素です。ただし原子核が大きい場合、運動量保存の法則とエネルギー保存の法則から式を立てて解くと、運動エネルギーの大部分は α 線や β 線に配分されることが分かります。

2. 放射性同位体・原子力発電に関して

■Bqでは危険性は分からないのでは？

Q：Bqが放射線の数ではなく壊変の回数なのは分かったのですが、実際問題となるのは放射線の数なので放射線数を基準とした方がよいと思ったのですが、それは測定の難易などによるのですか？

A：実際には数だけではなく、粒子の種類、エネルギー、人体のどこに当たったか、なども重要です。次回講義ではBqからリスクを推定するための「実効線量係数」をご紹介します。

■Bqの測定

Q：Bqは物に対する測定単位だが、私のイメージでは場所に対してテレビレポーターが機械を使って測定しているイメージでした。どの距離まで行くとBqとしてカウントされなくなるなどを知りたいと思った。

A：レポーターが測定していたのは恐らく、その場所を飛び交っている放射線の量を元に算出されたSvです。放射線が1点から全方向に放射されている場合、検出される放射線数は線源からの距離の二乗に反比例します。線源から徐々に離れた結果、装置の検出限界を下回るまで放射線の検出数が減ると「カウントされない」ということになります。

■放射性同位体の表記

Q： ^{137m}Ba とはなんですか？

A：バリウムの核異性体（放射性同位体の一種）です。左肩についている「m」はメタステーブル＝準安定状態という意味で、主に γ 線として放出されるはずのエネルギーが残っている状態を示します。 ^{137m}Ba もそうですが、多くの核異性体は比較的短い半減期で γ 線を放出して安定化します。

■ α 壊変とヘリウム

Q： α 壊変により放出された He はどこへいくのか気になった。He は安定していて軽いので上へいきそうだけど、宇宙までたどりつくのか…。

A：大気中での α 壊変であれば大気に拡散していきますが、工業的に重要なのは地下で起きる α 壊変です。世界にはウランやトリウムの α 壊変で生じた He がガス田に蓄積している場所があり、そこから採取することで高純度の He ガスを得ています。しかしこのようなガス田がある地域は限られており、供給は不安定になりがちです。

■ α 壊変と電荷

Q： α 壊変した場合、原子の電荷が 2- になりますが、これはそのままになるのでしょうか、それとも放出などされるのでしょうか？

A：講師も調べてみましたが、明確な理解はできませんでした。ただ、 α 線を放出した原子は α 線の影響を直近で受けるため、電離等の現象は生じるようです。

■ α 壊変と β 壊変

Q： α 壊変は、陽子と中性子のバランスがとれた原子核で起こるのに、壊変した先の原子核が β 壊変を起こすのはなぜですか？いつの間にか陽子と中性子のバランスが崩れてしまったのでしょうか…

A：小さい原子では陽子と中性子の比が 1:1 に近い方が安定なのですが、大きくなるにしたがって中性子の比率が少し多い方が安定になっていきます。 ^{238}U などでは 1:1.6 程度です。一方で α 壊変は陽子と中性子を 1:1 で減らすため、大きい原子では中性子が余分に残ってしまいます。これが壊変系列の途中に β 壊変が出てくる理由です。

■ γ 線より弱い光子線の発生

Q： α 壊変、 β 壊変の後の余剰エネルギーが低かった場合、光子は γ 線としてではなく、例えば可視光領域のものとして放出されることもありますか？

A：無いとは断言できませんが、普段の測定や利用において意識したことが無いです。 γ 線や X 線のエネルギーを蛍光に変換して測定することは多いのですが… なお、 γ 線のよ

うに原子核の安定化に伴って放出されるという縛りが無ければ、壊変に伴う電子の軌道遷移によって可視光が出ることはあり得ます。

■ α 壊変・ β 壊変と科学史

Q： α 壊変、 β 壊変というものが、科学史上どのような経緯で発見され応用されるに至ったかが気になった。

A：ぜひ調べてみて下さい。放射線、放射性同位体、核分裂としての応用のみならず、原子の構造に関する理解の進展などにも大きくかかわるトピックですので、科学史に興味があるならば楽しめると思います。

■陽子・中性子のバランスと原子核の安定性

Q：陽子は電荷+1、中性子は±0なのに、陽子と中性子でバランスをとる、とはどういうことですか？（類似質問あり）

A：ここで言うバランスは電氣的なものではなく、原子核内部のバランスです。下記 URL の「1. 原子核の安定性」を参照してみてください

・ATOMICA 原子核物理の基礎 (2) 原子核の壊変

https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_03-06-03-02.html

■ β +壊変と EC 壊変について

Q： β +壊変と EC 壊変の際に出てくる放射線がどのようなものがどのようにして出てくるのか分からなかったのがので教えていただきたいです。（陽電子について類似質問複数）

A：「どのようにして」は非常に難しいので、「どのようなもの」についてのみ回答します。特に陽電子関係の現象は理屈を考えると非常に難しいので、ひとまず「そういうもの」と覚えておくのも一案です。

β +壊変で出てくる陽電子は、電子の反物質です。質量は電子と等しく、電子が負電荷を持つのに対し、正電荷を持っています。物質中の挙動は電子と似ていますが、運動エネルギーを使い切った時点で周囲の電子と「対消滅」という現象を起こします。これによって電子と陽電子が消滅し、電子 2 個分の質量に相当するエネルギーを持つ 2 本の γ 線が発生します ($E=mc^2$ です)。この現象を利用するのが PET 検査です。

β +壊変と EC 壊変の双方で電子ニュートリノが出てきますが、物質との相互作用がほとんど無いため、人体影響は無視できます。

EC 壊変でも β +壊変でも、 β -壊変や α 壊変と同様、 γ 線が発生することがあります。

■原子力発電の仕組み

Q：原子力発電の仕組みが難しくよく分からなかったのがので、おすすめの参考書などあれば

教えていただきたいです。

A：入手しやすい平易な資料としては、「第1回～第3回の講義について」というプリントで参考書として紹介している「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」のp.31-36に説明があります。

総合的な情報は、例えば日本原子力文化財団の「原子力総合パンフレットWeb版」などがあります（TOP>原子力開発と発電への利用>原子力発電の仕組み）。個々の用語の理解にはJAEAのサイトである「原子力百科事典ATOMICA」が良いと思います。また、各種の情報への入り口としてはWikipediaの「原子力発電」のページも便利です。

■制御棒が核分裂を制御する仕組み

Q：制御棒が核分裂を制御する仕組みが良く分かりません（類似質問あり）

A：核分裂は ^{235}U や ^{239}Pu など特定の原子核が中性子を吸収することがトリガーとなって生じる現象です。核分裂が連鎖するのは、核分裂で生じた数個の中性子が次の核分裂のトリガーとなるためです。

この時、原子炉内に中性子を吸収する制御棒を入れる長さを調整し、1回の核分裂で生じた中性子のうち1個だけが次の核分裂を起こすようにすると、常に同じ頻度で核分裂が継続するため、一定出力が得られます。1個を下回るようにすると核分裂の頻度が減って出力が下がり、上回るようにすると出力を上げることができます。

多くの原子炉では地震などを感知した場合、制御棒を原子炉内に自動挿入して中性子の吸収率を上げ、核分裂の連鎖を停止する仕組みがあります。

■制御棒の素材

Q：原子炉における制御棒は何でできているのか？コンクリート？（類似質問複数）

A：中性子を吸収しやすい性質を持つホウ素、カドミウム、インジウム、銀、ハフニウムなどが使用されています。水やコンクリートは中性子とほぼ質量の等しい水素の原子核（＝陽子そのもの）を多く含むため、核分裂直後の高速中性子を減速させる能力は大きいですが、核分裂のトリガーとなる低速中性子の吸収能はそれほど高くありません。

■核融合の原理

Q：核融合はどのような原理で、どのように制御されるのですか

A：ウランのように重い原子核は小さくなることで安定化する（＝エネルギーを放出する）性質がありますが、水素のように軽い原子核は重くなることで安定化します（理研の核図表右隅のコラム参照）。そこで、水素などを融合させ、その際に生じる余剰エネルギーを利用するのが核融合です。制御に関しては核分裂のように自発的に進む性質が無いため、核

融合が成立する条件を維持しない限りは反応が継続しません。

■原発内での核分裂生成物の隔離

Q：原発において核分裂で生じた新たな放射性同位体を何らかの方法で分離し、うまく気化しにくいものへ変化させていくことはできないのか

A：核燃料の本体は、酸化ウランを陶器のように焼き固めたペレットと呼ばれるものです。核分裂生成物はこのペレットの中に蓄積していくため、原子炉の運転中にこれら进行操作することは困難です。

本来は気化しやすい同位体もペレット（およびその外側の被覆管）の中に閉じ込められています。福島原発事故では崩壊熱で燃料ペレットが融けることで内部の気体が圧力容器・格納容器内に放出され、さらに格納容器の損傷やベント（内圧による格納容器の破裂を防ぐための排気）によって大気放出されてしまいました。

■福島原発事故と電源喪失

Q：福島原発事故で電源喪失が起こらなかった場合、崩壊熱をどのように逃がしますか？

A：冷却水を循環させて冷却します。福島第一原発事故でも、5号機と6号機は生き残った非常用発電機をポンプに接続し、冷却に成功しています。

■崩壊熱の原因

Q：なぜ壊変で熱が出るんですって？

A：放射線は物質との相互作用で電離（や励起）を起こしますが、これらの化学的エネルギーは最終的には熱に変換されます。

今回の講義で出てくるGy（グレイ）という単位は、単位質量当たり吸収した放射線のエネルギー量を熱の単位であるJ（ジュール）で表します（ $Gy=J/kg$ ）。

余談ですが、この熱を積極的に利用する装置としては、宇宙探査機や心臓ペースメーカーに使用された原子力電池が知られています。

参考：「放射性同位体熱電気転換器」

■原発の冷却水の役割

Q：よく原発で用いられる冷却水というのは、核分裂で生じた分の余剰熱を冷やすのではなく、崩壊熱を冷却してメルトダウンを防ぐという認識で合っていますか。

A：まず崩壊熱ですが、運転中は核分裂による発熱と区別されず、両方が発電に寄与します。崩壊熱が単独で問題になるのは運転を停止した後のことになります。

次に冷却水の役割ですが、これはかなり複雑です。運転中における冷却水の重要な役割の一つは、核燃料から奪った熱を気化熱として使い、蒸気を発生させて発電用タービンを回すことにあります。もう一つの役割は、（日本で使用されている軽水炉の特徴ですが）核分

裂で発生した高速中性子を、次の核分裂で使えるように減速することです。

なお、冷却水は役割によって沸騰水型原子炉では 2 系統、加圧水型原子炉では 3 系統に分かれています。一番外側の系統は蒸気を水に戻すための冷却機能のみを担っており、海水が使われることが多い系統です。

運転停止中の冷却水は、崩壊熱を冷却する役割に加え、核燃料からの放射線を遮へいする役割もあります。冷却水の管理を不要にするために、空冷式のドライキャスクという燃料保管容器も使用されています。

■Cs は気化しやすい？

Q：I が I_2 として気化しやすいのは想像が付きやすいですが、Cs はそれほど気化しやすいのでしょうか？（同族の Na, K などは気化しにくいと思ったので伺いました）

A：単体での比較になりますが、沸点は Na が約 880°C 、K が約 760°C に対し、Cs はやや低い約 670°C です。また、隣の族の Sr の沸点は約 1380°C となっており、相対的に見れば Cs が気化しやすいということになります。

■沈着のしやすさ

Q：同位体の沈着のしやすさというのは、土壌などとの相性できまるようなものなのでしょうか。また、気化しやすさとも関係があるのでしょうか。

A：それが全てではありませんが、土壌との相性は重要です。第 4 回以降の講義で何回か取り上げられると思いますが、Cs は化学的に土壌（特に特定の粘土鉱物）との結合性が高い特徴があります。また、気化しやすいというよりは最初から気体なのですが、希ガス族の放射性同位体（例えば ^{133}Xe ）はほぼ沈着しないという特徴があります。

■沈着とはどのような現象か

Q：影響の大きい同位体の特徴として、「化学的に気化しやすく、沈着しやすい」とありますが、沈着するということは固体になるということですか？また、沈着とはどのような現象なのでしょうか？

A：この場合の沈着とは、大気から地表に降下する現象の総称です。雨や雪に溶けて降る場合もありますし、固体（エアロゾル）で降下することもあります。また、原子炉内部の金属素材が溶けて噴出した後に固化し、セシウム等を含む微細な球状粒子（いわゆる「セシウムボール」）となって沈着した例も知られています。

■メルトダウンの温度

Q：メルトダウンが起きたことで放射性同位体が拡散されてしまいましたが、そもそも原

子炉が何度くらいまで耐熱できるのか、また、崩壊熱は（種類にもよるとは思いますが）何度くらいまで上昇するのも教えていただきたいです。

A：原子炉の構成要素のうち核燃料自体が最も高温に耐えますが、燃料ペレットが溶けていることから、3000℃近い高温となったと推定されています。原子炉の中心部分である圧力容器は鉄やニッケルの合金のため、1500℃前後で融けます（このため、崩れ落ちてきた燃料によって穴が開き、燃料が圧力容器の外に出るメルトスルーという状態になったと考えられています）。また、福島原発事故で水素爆発の要因になった、燃料ペレットを覆う被覆管と水の反応による水素発生は、900℃程度から起こるようです。

■壊変と気化

Q：気体という状態が原子が自由に飛び回っている状態であるなら、壊変しやすさと気化しやすさはほぼ同じなのではないかと思った。

A：原子が自由に飛び回れるということと、原子核の中の陽子や中性子が自由に振舞えるということは違います。 ${}^4\text{He}$ 、 ${}^{10}\text{Ne}$ などの原子は常温では自由に飛び回れる気体ですが、壊変しない原子でもあります。

■核分裂生成物の壊変を何とかできないのか

Q：生成物が放射性ではない、あるいは生成物の半減期が短い核分裂は無いのか？ 半減期を短くする／壊変速度を速める／壊変を止める方法は無いのか？なぜ難しいのか？（類似質問多数）

A：多くの質問者の方が推測している通り、現時点では良い方法が見つかりません。なぜ難しいのかということですが、熱を加える／冷やす等の化学的手段では難しい理由が「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」のp.27-29に分かりやすく記述されています（著者の田崎さんのサイトでpdf版をダウンロードできます）。また、同位体を変化させる方法も検討されていますが、現時点では経済的・社会的コストが合理的な方法は確立されていません。使用済み核燃料は様々な放射性同位体の混合物なので、一つの同位体の処理に都合な処理（例えば中性子照射）が他の同位体に対してはかえって面倒な変化を起こしてしまうといった問題もあります。

■核分裂生成率が高い同位体の問題

Q：核分裂で生成されやすい同位体が問題となるのは生成されやすく数が多いため、例えば1%/sで壊変するとしたら、原子100個の場合は1Bqにしかならないとしても、1000個ある場合は10Bqになるというような理解で良いのでしょうか。

A：その通りです。

■気化しやすい同位体の問題

Q：原発事故で影響が大きい同位体の特徴で、気化しやすいというのがありましたが、それは気化することで広範囲に広まりやすくなるからですか？

A：その通りです。

■未発見の放射性同位体

Q：未だ見つかっていない放射性同位体によって今後被害が出る可能性があるのか気になりました。

A：次回講義で説明しますが、被害がある＝放射線を出すということです。一方で、放射線を出す＝検出できるということです。現時点で検出されていない放射性同位体が健康被害を及ぼす可能性はまず無いと考えられます。

■ウランの同位体

Q：原子力発電の仕組みで、核分裂する ^{235}U とは別に、 ^{239}Pu を生成する ^{238}U がありますが、天然には様々な中性子数のUがあるということですか？

A：その通りです。大部分(99%以上)が ^{238}U で、 ^{235}U は0.7%程度、 ^{234}U がごく微量という組成です。

■原発事故と半減期の短い核分裂生成物

Q：原発事故で影響が大きいのは、半減期が長い放射性同位体だということは分かりますが(→長期的に影響を及ぼすから…?)、半減期の短い放射性同位体は単位時間・物質当たりでの壊変回数が多いのに影響はあまりない、というのがしっくりきません。

A：2つの意味があります。1つは、半減期が短い同位体は原子炉内で生成しても次々に壊変していくため原子炉内に蓄積しにくく、事故の際の放出量が相対的に少ないということです。もう1つは、避難等の期間が短くて済むということです。例えば半減期が1日の放射性同位体であれば、除染等の対策をしなくても10日間で汚染が1/1000に減少します(当然、汚染が十分減少するまでの対策は必要です。安定ヨウ素剤の配布などはその一例です)。

■壊変と化学結合

Q：半減期が長いものの場合、外気にさらされている間に化合物になってしまうことも考えられるが、その後に壊変し原子番号が変わってしまった場合、その化学結合の方に影響は無いのか？

A：影響します。基本的に化学結合は切れると考えられます。

■量子力学

Q：原子の崩壊はどうして確率的に起きるのですか。つまり、原子が十分なエネルギーを

持ってすぐに分裂するのではなく、一部だけが崩壊する理由が良く分かりません。その状態で一定の安定があるから壊れないということでしょうか。

A：そう考えて良いと思います。

■自然環境中での核分裂

Q：自然中でも核分裂のような現象が起きて異常に高温となるようなことはありますか。そういうことがあれば、原子力発電の代わりとして蒸気を作ることができるような気がします。

A：あります。「天然原子炉」というキーワードで調べてみて下さい。なお、発電つながりと言えば、地熱のかなりの部分は天然放射性同位体の崩壊熱です。

■PET 検査と ^{18}F の関係

Q：PET 検査に使われるのはなぜ ^{18}F なんですか？

A：PET 検査で検出するのは陽電子と電子の対消滅による γ 線です。したがって β^+ 壊変する放射性同位体が必要です。また、半減期がある程度短くないと検査に使いにくいです（体内に長期間残ると、患者さん本人もそうですが、周囲の人が被ばくするので）。そういった条件を満たし、がんの検出に使いやすいようにグルコース類似物質と結合させる方法が確立されているため、 ^{18}F がよく使われます。

■研究用・医療用の放射性同位体

Q：研究用や医療用に使われる放射性同位体は何が多いのですか。なぜそれが多いのですか。

A：Bq で見ると、研究用としては ^3H 、 ^{14}C 、 ^{32}P 、 ^{33}P 、 ^{35}S 、 ^{51}Cr 、 ^{125}I 、 ^{131}I などが多いです。ひと昔前は分子生物学分野の標識物質として代替手段が無く、多量に使用されていました。現在では蛍光系試薬への移行が進んでいるため減少傾向です。

医療用では体内に投与して検査するための ^{18}F や $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{111}In の他、治療用に強い γ 線を出す同位体（例えば ^{60}Co や ^{192}Ir ）も多く使用されています。

詳しくは日本アイソトープ協会による「アイソトープ等流通統計」などを参照してください。

■雷による放射性同位体が生成する仕組み

Q：放射性同位体が生成する要因のその他のところで雷による生成とあるが、それはどのように生成するのか。

A：強力な雷雲が発生すると、その内部の高電圧によって電子が放射線と呼べるレベルにまで加速されます。この電子線が制動放射によって高エネルギーの光子線を発生させ、この光子線が大気原子と相互作用することで ^{13}N などの放射性同位体を発生させるという説が提唱されています。

参考：「雷による光核反応の発見」（和田・榎戸 2018）

■ γ 壊変について

Q： γ 壊変が単体で起こる可能性は全くのゼロなのでしょうか。

A：核異性体（左肩の数字末尾に m が付く同位体）は、単体の γ 壊変と言える現象を起こします。例えば $^{99\text{m}}\text{Tc}$ や $^{137\text{m}}\text{Ba}$ はそれぞれ γ 線を放出しつつ ^{99}Tc や ^{137}Ba に変化します。ただし、これらの核異性体はそれぞれ ^{99}Mo と ^{137}Cs の β 壊変によって生じていますので、どこまでを壊変の区切りと見なすかで単体か否かが決まる面もあります。

■ ^{238}U の半減期はなぜ分かるのか

Q： ^{238}U の半減期は約 45 億年と長く…（中略）とありましたが、この値はどうやって分かったのでしょうか。

A： ^{238}U の減少そのものを測定するのは非常に困難です。しかし講義でお話した通り、物質質量（mol 数）あたりの Bq は半減期と反比例の関係にあります。つまり、 ^{238}U の物質質量あたりの Bq を測定することで半減期を求めることが可能です。もう少し詳細な説明が必要な場合、下記 URL を参照してください。

<https://hps.org/publicinformation/ate/q8270.html>

■ 壊変確率の求め方

Q：1 秒あたりに壊変する確率というのはどのようにして調べるのか疑問に思った

A：比較的単純な方法としては、壊変確率と反比例する半減期から逆算する方法があります。ある放射性同位体から出る放射線を経時的に測定することで、出てくる放射線が半分になるまでの時間＝半減期を調べ、そこから壊変確率を計算します。ただし、半減期が非常に長かったり、壊変後の原子も放射性だったりすると色々と工夫が必要です。

■ 放射性同位体が複数種存在する場合の Bq の扱い

Q：Bq は複数の放射性同位体をまとめて対象にするのか？

A：対象にすることはできますが、あまり意味のある数字になりません。放射性同位体ごとの Bq を知ることが重要で、その方法については第 3 回講義で説明します。

■ 放射性廃棄物

Q：原子炉に蓄積した同位体はどのように処理されるのか。人が無い場所に放置して壊変を待つとか、放射線を通さないような容器に入れて保存しておくとか？（類似質問として、「どのように処理をしているのかについて知りたいです」等もあり）

A：現時点の現実解として検討されているのは、まさしくそのような方法です。問題は高レベル放射性廃棄物の場合、人が近寄れるほど放射線が減衰するまで数万年以上と見積もられている点にあります。数万年の間人が立ち入らない場所など確保できるのか…？
先進事例としてはフィンランドの「オンカロ」があります。ぜひ調べてみて下さい。

3. 放射線の人体影響に関して

■防護服について

Q：ニュースで防護服を着て福島原発で作業する方々を見たことがあるが、服で放射性同位体をバリアできるとは思えない（放射線は小さいうえ、透過能力があるので）。実際のところ、あのような服で身体を守れるのか疑問。それとも、防御の対象は他の物質なのか。

A：放射線（特に光子線）に対する防御はほとんどありません。あの服に期待されているのは、現場環境に存在する放射性同位体を体内に取り込まないことと、放射性同位体を作業現場の外に持ち出さないことです。

放射性同位体を体内に取り込んでしまうと長期間の被ばくに繋がりますし、汚染された服をその場で脱いでいかないと、現場の外に汚染が広がってしまいます。防護服の実際については、作業現場を描いたマンガ「いちえふ」などが詳しいです。

■原発と人体影響

Q：「放射線ってナニモノ？」の内容と照らし合わせると、原発が人体に悪影響を及ぼすのは、半減期が短いからというより、蓄積量が多いからでしょうか。

A：「原発」を「事故で原発から出てきた¹³⁷Cs」と読み替えてお答えすると、半減期・放出量・1壊変当たりに出てくる放射線の種類とエネルギーなどを総合的に見て影響が大きいから、というのが答えになります。もし「原発の使用済み核燃料」を指しているのであれば、その通りです（短半減期の放射性同位体は短期間の保管で消失するため）。

■ニュートリノの検出・人体影響

Q：ニュートリノがほとんど計測されないのは量の問題なのか、頻度の問題なのかかわからなかった。そして、ニュートリノ粒子の放射線も人体に影響が有るのですか？

A：ニュートリノは電荷を持たず、物質との相互作用もほとんど起こしません（地球すら

透過してしまうことがあります) このため、計測器がほとんど感知できないという意味です (なので、ニュートリノを計測する「スーパーカミオカンデ」などは5万トンという超巨大な水槽を計測器として、少しでも計測する確率を上げています)。

ここまでの話でお分かりかと思いますが、ニュートリノは人体をほぼ素通りしてしまうため、人体への影響は無視できるレベルです。