

放射線環境学第Ⅰ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。

Ⅰ. 放射線関連

■宇宙線・ミューオン

Q：宇宙から飛来する粒子が大気と反応して宇宙線を生じる過程も、ひょっとしたら非荷電粒子を実体とする放射線と物質の相互作用、または制動放射のようなものなのだろうかと思った。

Q： μ 粒子とはどのようなものなのでしょうか。

Q：ミューオンは具体的にどんな粒子ですか？

A：宇宙線と大気との反応は大規模で複雑です。第Ⅰ回の講義で紹介した電子と光子（＝電磁波）の相互変換による電磁カスケード以外に、Ⅰ次宇宙線には高エネルギーの粒子線（例えば陽子線）も多いため、Ⅰ次宇宙線と大気中の窒素や酸素原子の衝突による原子核破碎反応も起こります。この反応で生じた π 中間子は μ 粒子に変化して地上に降り注いでいます。 μ 粒子は電子と同じ電荷を持つ荷電粒子であるため、霧箱で観察することができます。他の反応としては、第Ⅱ回講義で紹介するように、 ^3H や ^{14}C といった放射性同位体も生じますし、航空被爆で問題となる中性子線も生じます。

さらに興味がある場合「空気シャワー」「電磁カスケード」「核カスケード」等のキーワードで検索してみてください。

参考：「量子ビームの図鑑」

■エネルギー量の問題

Q：放射線の説明で「通常の数千倍以上のエネルギー」という記述がありますが、「数千倍」という数はどうやって得られるのでしょうか。

Q：放射線はなにものかについて、正直に申し上げますとすっきりしないように感じた。「何らかの」粒子のようにはっきりしない表現があったり、なぜ数千倍以上のエネルギーを持って運動しているのかと感じたりしたことが原因であると思われる。

A：可視光線が数 eV という説明をしましたが、水素と酸素が水になる反応のエネルギーを eV で表現すると、 $\text{H}_2 + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + 3.0 \text{ eV}$ となります。このように、一般的な化学

反応の多くも 1 分子あたり数 eV の世界です。これに対し、放射線としての性質が現れるのは数 keV 程度からであるため、数千倍という表現を使いました。

Q：粒子は同じでもエネルギー量が全然違うということだったが、どうして同じ粒子に多くのエネルギー量を含むことができるのか疑問に思いました

Q：同じ種類の粒子でもエネルギーの違いがあるだけで放射線としての性質を持つというのは新鮮であった。疑問に思ったのは、なぜそのようなエネルギーの違いが発生するのかという点。

Q：同じ粒子にもかかわらず、20 万倍以上もの差がエネルギーに生じるのはどうしてなのか。

Q：なぜそのような小さな粒子がそれほどまでのエネルギーを持つのか疑問になった。

Q：なぜ放射線の粒子は通常の数千倍以上のエネルギーを持っていますか？

A：光子以外の粒子の場合、ここで言う「エネルギー」は速度の 2 乗に比例する「運動エネルギー」です（放射線レベルの速度だと相対性理論も関係してくるので、厳密には 2 乗ではないですが）。つまり、放射線と言えるほどのエネルギーを持っている粒子は非常に高速で運動しているためにエネルギーが大きいことになります。

光子（＝電磁波）の場合、速度は一定なので、周波数（振動数）がエネルギーに関係します。高エネルギーの光子は非常に大きい振動数を持っています（「一家に 1 枚 光マップ」<https://stw.mext.go.jp/series.html>などを参照してください）。

■量子力学

Q：放射線と物質が相互作用するというのは十分近い位置に近づくと反応が起きることによって良いのでしょうか。それとも衝突するというのでしょうか。非荷電粒子の説明では衝突だと説明されていましたが、粒子同士が衝突する確率は相当に低いように思えます。

A：講義では「衝突」と表現しましたが、この現象が実際には何なのかを説明するために量子力学の知識が必要で、分かりやすく説明することが私にはまだできません（力不足です…）。例えば電子と光子の「衝突」を考えてみても、電子雲として確率的に存在している電子と、粒子と波の二重性を持つ光子の間で起きている相互作用は、日常の比喩の延長で表現できるものではないことはお分かりいただけるかと思います。粒子同士が衝突する確率が非常に低いのはその通りです。

Q：制動放射の原因はエネルギー保存と運動量保存ですか。

A：違うと言って良いと思いますが、では実際どうなのか？という問いには、講師の能力

不足でうまく答えることができません。申し訳ありません。

■GM 管検出器の実験について

Q：塩化カリウムと GM 管検出器を用いた実演の際にアクリル板で遮蔽しても検出器の音は鳴り続けたが、それはアクリル板で遮蔽しきれなかった塩化カリウムからの β 線が反応しているのか、それとも自然界の β 線と反応しているのか音だけだと分かりづらかった。

A：確かにその通りです。塩化カリウムと無関係に計測されるバックグラウンド値を数値としてお見せするべきでした。ちなみにバックグラウンド値は天然の β 線よりも大地放射線（主に γ 線）や宇宙線の寄与が大きいです。

■放射線の名称・挙動シミュレーション

Q： β 線はエネルギーが弱く、アクリル板で防げる。

Q： γ 線は電荷が無いので、密度が低いものをすり抜けることができる。

Q：等量の荷電粒子と非荷電粒子の放射線を物質に与えた場合、物質への電離作用はどちらの方が大きいのでしょうか（※自分は後者の方が、多くの衝突をしそうなので大きいと思いました）

Q： β 線と γ 線の詳しい説明はした方が良くはないかとも思った。

Q：授業内にときおり出てきた α 、 β などの放射線はどのように異なるのか（発生、特徴等）が気になりました。

Q：原子番号が大きい原子ほど放射線を弱めやすいと聞きますが、同じ元素でも原子が密に詰まっている場合と空隙が多い場合で放射線の弱めやすさに差は有りますか？

A：以前はもう少し詳しく説明していたのですが、詰め込みを反省して削りました。しかし削りすぎたかもしれません。以前説明に使用していた資料を抜粋してアップロードしました。

参考： 追加資料 I_放射線と物質の相互作用シミュレーション.pdf

Q：GM 管検出器の説明の際に β 線がアクリル板内でエネルギーを失ってしまうので検出されないという話がありましたが、制動放射のようにカスケードが生じた場合には荷電粒子を間接的に検出できると考えていいのでしょうか。

A：その通りです。できます。

Q：今まで制動放射を知らなかった。「チェレンコフ光」というものの存在を知っていたが、

光と放射線の関係について知らなかったのが今まで発生原理が疑問だった。

A：チェレンコフ光は制動放射で発生する電磁波とは異なり、衝撃波と似た原理で発生する現象です。メカニズムの詳細は Wikipedia の「チェレンコフ放射」等を参照してください。農学部での研究においても、高エネルギーの電子線を放出する放射性同位体（例えば³²P）の検出に利用しています。

Q：光子線から電子線が発生するというのは「非荷電粒子の場合の相互作用」のスライドにあった物質中の荷電粒子に衝突して電離を起こすというメカニズムにのっとっていますか？

A：その通りです。電子が発生する反応としては、光電効果・コンプトン散乱・対生成といったいくつかのメカニズムがあります。

Q：γ線が物質を電離させていき、エネルギーを失っていくと最終的に何になりますか。

A：だんだん周波数の小さい光になって放射線ではなくなることもありますし、「光電効果」という反応で電子に全エネルギーを与えて消滅することもあります。

Q：γ線がエネルギーを失う要因は他にどんなものが有りますか。

A：物質との相互作用以外で電磁波がエネルギーを失うことはあまり有りません（だからこそ、遠く離れた星の光が見えたりします）。これは電磁波の一種であるγ線についても同様です。

■霧箱の原理・見えるもの・作り方

Q：霧箱を用いて放射線を観察することができる仕組みを知りたいです。

Q：霧箱の映像を見ていると、直線的に霧が走る場合と、ジグザグ、カーブしながら霧が走る場合があります。これは放射線の種類の違いや、制動放射によるものでしょうか？詳しく教えていただくと幸いです。

Q：霧箱の中で今日見えた放射線（の存在）は、3つの相互作用のうちでの相互作用が起きているのでしょうか。制動放射ではないと思うのですが、「宇宙線」は荷電粒子なのか非荷電粒子なのかわからなかったの…

A：時間の都合で削ってしまったのですが、以前作成した資料から抜粋したものをアップロードしておきます。

参考：追加資料2-1_GM管と霧箱.pdf

Q：霧箱の周りに鉛板を置いたら放射線が検出できなくなりますか。

A：多少は減るはずですが、 μ 粒子は透過性が高いため、多少の鉛板では遮へいしきれないと思われます。

■検出器の原理

Q：GM管検出器とシンチレーション検出器の仕組みをもう少し詳しく説明したスライドがあると嬉しいです。

A：資料を削りすぎてしまったかもしれません。以前使用していた資料の抜粋をアップロードしておきます

参考：追加資料2-1_GM管と霧箱.pdf 追加資料2-2_シンチレーション検出器.pdf

■基礎的な用語について

Q：「光子線」や「放射性同位体」といった物理・化学の用語について、軽くていいので説明してもらえると助かります。

A：○○線という用語は、一般的には何かがある方向に飛んでいる（移動している）状態を表します。光子が飛んでいると光子線、電子が飛んでいると電子線といった具合ですね。放射線の性質は粒子の性質（例えば電荷の有無）に依存するため、粒子の名前で放射線を区別することがよくあります。放射性同位体については第2回講義を聴いてみて下さい。その上で疑問が残った場合、遠慮なく質問して下さい。

参考：「量子ビームの図鑑」と、その用語集 <https://stw.mext.go.jp/series.html>

■光子線とは何か

Q：「光子線」とは具体的な物質なのでしょうか。制動放射で、エネルギーが光子線となって放出されるというのがよく分かりません。

A：「光子線」は広い意味での「光」や「電磁波」と同じ意味です。「エネルギーが電磁波として放出される」と読み替えると、イメージしやすいかも知れません。

参考：一家に1枚「光マップ」 <https://stw.mext.go.jp/series.html>

2. 放射性同位体に関して

■放射線の減衰と放射性同位体の減衰

放射線の減衰（物質との相互作用によるエネルギー喪失）と、放射性同位体の減衰（壊変による原子数減少）を混同されている方が比較的多く見受けられました。今日の講義で放射性同位体の減衰について説明することで解決したいと思います。

■放射性同位体の起源

Q：放射線が発生するエネルギー源の一つが不安定な状態から安定な状態への原子核構造変化とのことでしたが、不安定な原子核の状態とはどのように発生するのですか？

Q：放射線というものが物質を電離させるものであることは分かったが、物質が他の物質になる（原子量が小さくなるなど）ことはないのだろうかと思った。

Q：放射線の発生源を見ると、なぜ原子核の構造変化などにより、このような大きいエネルギーが発生しますか？

A：第2回講義を聴いて解決しない場合、申し訳ありませんが再度質問をお願いします。

■核分裂・原子力発電

Q：核分裂がわかりません。

Q：ストロンチウムの方が高温で気化するのにセシウムと半減期が同程度で人体への影響もそれほどでもない(?)のはなぜか、知りたい。

Q：原子力発電所のエネルギー源としてよく聞くのはウランやプルトニウムですが、福島原発事故で問題となっているのはセシウムなどです。このセシウムなどはどこに由来するものなのでしょうか？

Q：普段人間が浴びている宇宙線・同位体の放射線と原発で起こされる核分裂の放射線の違いはあるのか？

A：第2回講義を聴いて解決しない場合、申し訳ありませんが再度質問をお願いします。

Q： ^{137}Cs は普通に存在しているのか。

A：天然に存在しているのか？という質問だと理解してお答えします。半減期がそれほど長くないため、天然にはほとんど存在していません。現在の環境中に存在している ^{137}Cs は、過去の原爆、核実験、原発事故等で放出されたものが大部分です。

Q：核分裂は現在ウラン・プルトニウムで行っているが効率が悪いと聞いた（実際の分裂

は質量に対して99%起らない) それに対して NASA の研究者たちは当初の目的は月移住のエネルギー源としてトリウムを使えると聞いたが、それは現実的なのか？東京大学での研究は行われているのか？

A：天然ウランの大部分は ^{238}U で、核分裂を起こす ^{235}U は少量しか含まれていません。このため ^{235}U を濃縮して核燃料にしていますが、燃料の質量当たりの利用効率は悪いです。この問題の解決策が、分裂しない ^{238}U を分裂する ^{239}Pu に変換して燃料にする高速増殖炉サイクルですが、現在日本では頓挫しています。

トリウム (^{232}Th) を核分裂する ^{233}U に転換して利用する原子炉は日本では使用されていませんが、トリウム資源の豊富なインドでは実用化されています。豊富に存在する ^{232}Th を ^{233}U に変換して利用できるため理論上の利用効率は高いですが、こちらもサイクルは確立されていないようです。東大でのトリウム炉研究の進展や、月面での実用性については、申し訳ありませんが講師は把握していません（工学部の原子力系の学科の先生なら分かると思います）。

■半減期について

Q：半減期というのは、もともとの放射性が半分になるということなのか、直接・間接的に電離を起こすなどして周りに及ぼした影響全て含めて半分になるということなのか気になりました。

Q：放射線がいずれその性質を失うのなら、原発などの影響が半永久的に残るというのはどういう仕組みですか？

Q：電離によって力を失う放射線の特徴が、半減期等にも関わるのか。そもそも放射性同位体によって荷電、非荷電等異なるのか。

Q：放射線は物質の中を通過して荷電粒子と衝突するたびにエネルギーを消費していくとのことだった。半減期はこのエネルギーの消費によって定まっているのだと思うが、半減期に長短があるのはもともと持っているエネルギーの量に差があるからなのだろうか。

Q：講義で塩化カリウムから出る放射線を測定していたが、あのパックの内の KCl 原子は限りがあるはずなのに放射線が出なくなるということはないのか。

Q：ニュースなどで、放射線は何年かたったのちに、放射線としての性質を失うことは、何となく知ってはいたが、電離を起こしてエネルギーが全て消費された状態であることは知らなかったので、興味深かった。

Q：放射線は徐々にエネルギーが減少していくという話がありましたが、そうすると長期的に見ればいつかは宇宙空間中に放射能を持つ物体はなくなるということですか。

Q：電離を起こさせることでエネルギーを失っていくのなら、電離を誘発することで放射線の能を下げられたりするのではと思った。

A：第2回講義を聴いて解決しない場合、申し訳ありませんが再度質問をお願いします。

■広島空間線量が高い理由（資料：大地放射線マップ）

Q：（空間線量マップで）広島の線量率が高いのは原爆の影響ですか？もしそうだとしたら長崎がそれほど高くないのはなぜですか。（※類似質問複数）

A：第3回講義でこの理由について触れようと思いますが、答えだけ先に言うと原爆の影響ではありません。

<http://www.geosociety.jp/hazard/content0058.html>

■ラドン温泉

Q：温泉の放射線量は多いのですか？ラドン温泉など、名前の由来が気になります。人体への影響等はあるのでしょうか？

Q：ラドン温泉の仕組みを教えてください。

A：温泉全てが高い放射性同位体濃度を持っているわけではありません。ラドン温泉を名乗るには、温泉に一定量のラドン（111Bq/kg）を含んでいる必要が有ります。このため、入浴すると、平均的な自然被ばくよりも多くの外部被ばく・内部被ばくを受けます（とはいえ多くの場合、一回の温泉療法で受ける被ばく線量は胸部レントゲン検査よりも小さいようです）。医学的な効果（例えば放射線ホルミシス）を期待して湯治に利用されることもあります。エビデンスが十分とは言えない状況のようです。

3. 放射線の人体影響に関して

Q:なぜ電離をさせる物質が有害なのか良く分からない。例えば、エアコンなどの家電でプラズマクラスターといったイオンを空気中に発生させるものもある。イオン化させると有害な物質となるものまでイオン化させてしまうからなのか、もしくはイオン化させる量が過剰だから有害であるのか、理由をはっきりしたいと思った。

Q：放射線が直接的であれ間接的であれ、物質に電流を流すことが理解できたが、体に電流が流れることと被ばくの関係がよく分かりません。感電する程の電流が流れるのか、それとも電流によって人体に悪影響が何らかの形で表れるのか教えていただきたいです。

Q：電離はどのように人体に悪影響を及ぼすのですか？

Q：どのようなメカニズムで放射線は甲状腺がんなどの悪影響を体内に引き起こすのですか？

Q：放射線は原子よりも小さい粒子なのに人とか農作物に影響を与えるのか？エネルギーが大きいから？

Q：宇宙飛行士は船外活動において大量の宇宙線を浴びると考えられるが、健康的な影響は出ないのか疑問に思った

A：第3回講義で疑問が解決するようにしたいと思います。

Q：体内での情報伝達は電気信号によることを考えれば、放射線はやはり危険であろう。

A：一般的な範囲の被ばくでは放射線によって人体の情報伝達系がかく乱を受けることはありません。しかし、電子回路の誤動作の原因となることは知られています。

■事故の健康影響

Q：甲状腺から分泌されるチロキシンというホルモンはヨウ素を含むので、福島でとれたワカメを食べると甲状腺がんになると聞いたことがありますが、ヨウ素の半減期は8日間と短いため、実際のところワカメが原因で甲状腺がんになるケースはどのくらいあったのか、疑問に思いました。

A：人体影響については第3回、食品の規制については第4回以降の講義で取り扱います。ぜひその疑問を持って講義に臨んでください。

4. その他

■加速器の費用

Q：加速器を持つ（置ける）施設の建設にはどの程度の費用がかかるものなのでしょうか？

A：小規模な装置であれば一般の部屋に置くことができます（加速した電子を使って X 線を発生させているという意味ではレントゲン撮影装置も加速器の一種です）。一方で、大規模施設には莫大な費用が必要です。現在日本への誘致が検討されている国際リニアコライダーは総工費 8000 億円と見積もられています。

■オゾン層

Q：宇宙線と大気が反応することに関連して「オゾン層は地球を宇宙線の露出から守る」ということを聞くが、オゾンが他の大気の成分と異なった働きをするのはなぜか？

A：オゾン層と関係が深いのは、放射線よりもわずかにエネルギーが低い、短波長の紫外線です。オゾンは大気中の他の成分よりも短波長の紫外線を吸収する性質が高いため、地表に到達する短波長紫外線を少なくする効果があります。

■資料のフォント

Q：資料のフォント教えて欲しいです。

A：「UD デジタル教科書体」です。Windows 10 では 2017 年のアップデートを適用していれば標準で使用できます。ユニバーサルデザインフォントの存在については「伝わるデザイン」というサイトで知りました。Windows 10 で利用できるユニバーサルデザインフォントとしては、他に BIZ UD フォントがあります。

■講義手法

Q：目標を最初に提示してもらえて良かった（同様の意見複数）

A：これは私が「東大 FFP」というコースを受講して学んだ講義技術の一つです。講義の理解に役立ったのであれば嬉しいです。東大 FFP は院生以上を対象としたコースですが「インタラクティブ・ティーチング」という e-learning コンテンツが無料で公開されています。聴き手のより良い学びのために、教える側は何ができるのか？といったことに興味がある方は下記 URL を覗いてみて下さい。

<https://www.utokyofd.com/mooc/attend>