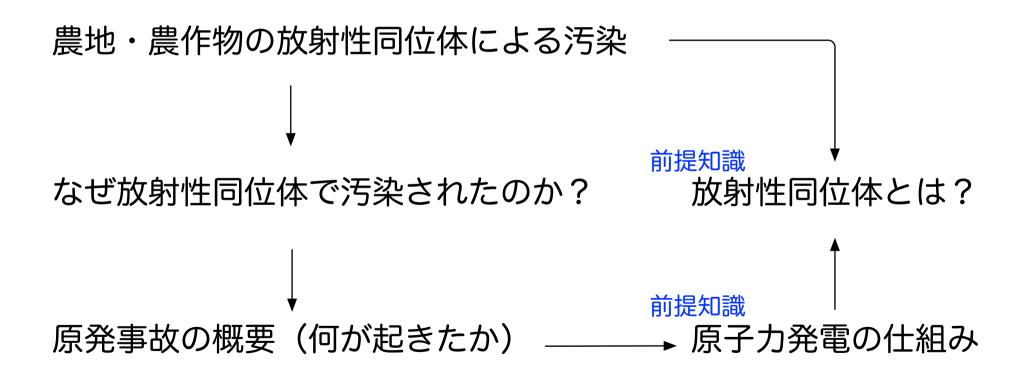
放射線の基礎

東京大学大学院 農学生命科学研究科 アイソトープ農学教育研究施設/生産・環境生物学専攻 農地環境放射線学研究室

特任講師 廣瀬農

講義の背景:原発被害からの農業復興

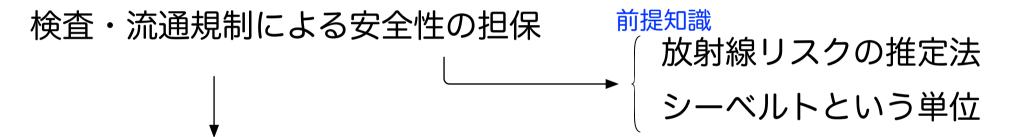
農業に対する原発被害の理解



※ 具体的に何がどの程度汚染されたのかは、第4回以降の講義で。

講義の背景:原発被害からの農業復興

農業復興のステップ



農地・作物の汚染状況の把握、汚染の移行メカニズムの解明

農作物の放射性同位体汚染を防ぐための各種対策

※ 安全担保、状況把握、メカニズム解明、将来の対策の詳細は、第4回以降の講義で。

第1回-第3回講義の目的

1. この後に続く各分野での研究内容の理解に必要な、放射線・ 放射性同位体・人体リスクに関する基礎知識の提供

到達目標:

- a. ベクレル(Bq)とシーベルト(Sv)がそれぞれ何を表す単位なのか、 家族や友人に説明できる。
- b. セシウム137が1万Bq/kg含まれているキノコを200g食べた場合の健康リスクが、胸部レントゲン検査の約何回分に相当するかを推定できる。
- 2. 既に基礎的な知識を持っている方に対しては、さらなる知識の提供

「講義で取り上げられなかったが知りたい」というトピックについて、ショートレポート用紙、またはメール(atsushih@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp)で質問して下さい。可能な範囲でお答えします(Q&Aを配布します)。

参考書

 まんがサイエンス:放射線ってナニモノ? (あさりよしとお)

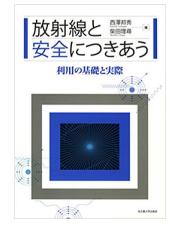
- いちから聞きたい放射線のほんとう (菊地 誠、小峰 公子)
- 3. やっかいな放射線と向き合って暮らしていくための基礎知識(田崎晴明)

4. 放射線と安全につきあう (西澤 邦秀、柴田 理尋)



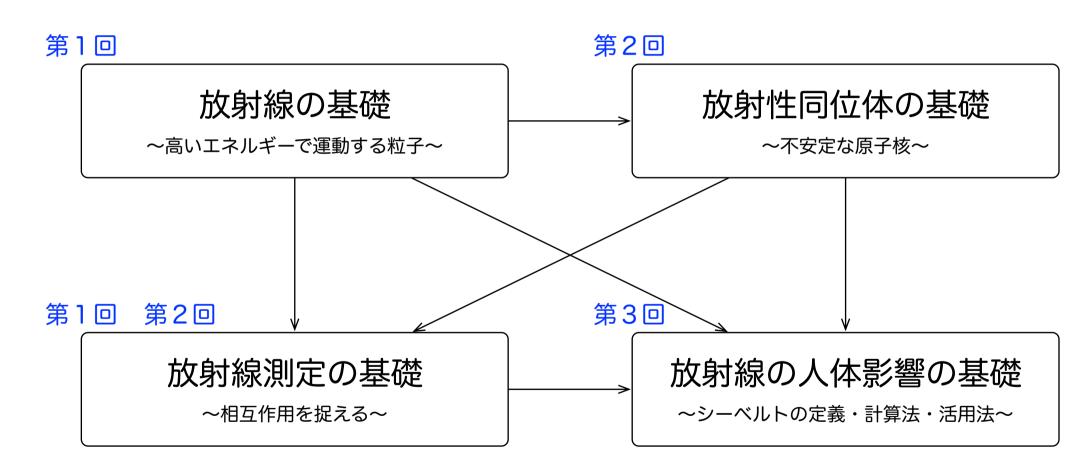






- ※ 1は各種の電子書籍で無料版を閲覧可能。3は著者ページでPDF配布。
- 2,4は農学部図書館に所蔵あり。全て入門書だが、概ね1→4の順で内容が専門的になる。

講義の流れ



放射線の基礎

~高いエネルギーで運動する粒子~





あさりよしとお「放射線ってナニモノ?」

放射線とはどんなもの?

1) 原子よりも小さい何らかの粒子が…

2) 通常の数千倍以上のエネルギーを持って 運動している場合

3) 放射線としての性質を示す

1) 原子よりも小さい何らかの粒子が…

「原子よりも小さ い粒子」の例 原子核

陽子、中性子

電子、陽電子、µ粒子

光子

2) 通常の数千倍以上のエネルギーを持って 運動している場合

	粒子	エネルギー	
可視光線	光子	2~3 eV	
¹³⁷ Csの γ 線	光子	662 keV	

2) 通常の数千倍以上のエネルギーを持って 運動している場合

	粒子	エネルギー
可視光線	光子	2~3 eV
¹³⁷ Csのγ線	光子	662 keV
	粒子は同じ	

2) 通常の数千倍以上のエネルギーを持って 運動している場合

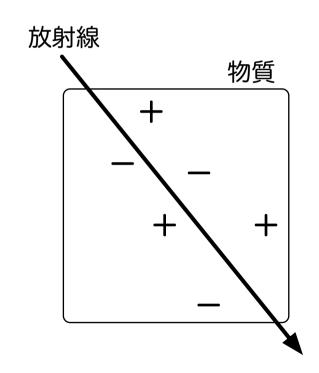
	粒子	エネルギー
可視光線	光子	2~3 eV
¹³⁷ Csのγ線	光子	662 keV

エネルギーは20~30万倍

3) 放射線としての性質を示す

放射線が物質と相互作用すると、物質にエネルギーを与え、物質中の原子を電離する(=イオン化する)。

この「電離を起こす性質」が放射線の特徴で、人体影響を考慮する際、あるいは放射線を測定する際に重要。





放射線とはどんなもの?

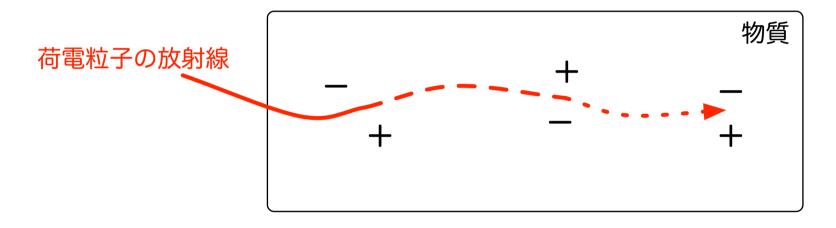
1) 原子よりも小さい何らかの粒子が、

2) 通常の数千倍以上のエネルギーを持って 運動している場合、

3) 放射線としての性質、すなわち、物質と 相互作用して電離を起こす性質を示す。

~荷電粒子の場合~

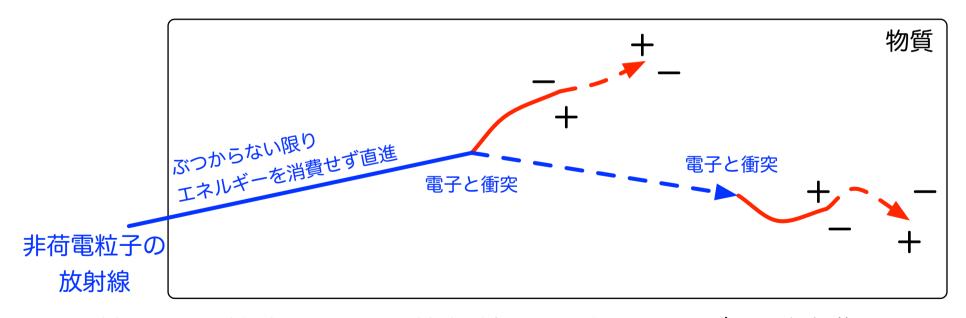
粒子に電荷が有る放射線の場合は、経路 近傍の原子を直接的に電離する。 荷電粒子の例: Heの原子核、 陽子、電子など



物質を電離することで、放射線の運動エネルギーが徐々に消費され、最終的には放射線としての性質を失う。

~非荷電粒子の場合~

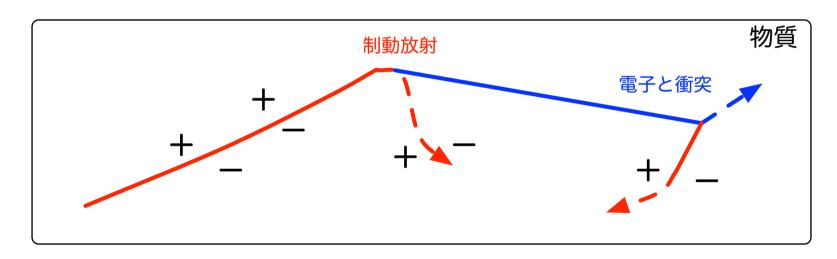
粒子に電荷が無い放射線の場合、物質中で電荷を持つ 粒子(電子や陽子)に衝突して運動エネルギーを与 え、衝突された粒子が間接的に電離を起こす。 非荷電粒子の例: 光子、中性子など



別の粒子との衝突によって放射線の運動エネルギーが消費され、 最終的には放射線としての性質を失う。

~ 制動放射 ~

電荷を持ち、運動エネルギーが高い粒子の運動方向が変わる時に、エネルギーの一部が光子線となって放出されることがある。 これを制動放射と呼ぶ。



この性質があるため、電子線から光子線が発生し、その光子線から電子線が発生し…といった電磁カスケードと呼ばれる現象が起こる。

~ 制動放射 ~

電荷を持ち、運動エネルギーが高い粒子の運動方向が変わる時に、エネルギーの一部が光子線となって放出されることが有る。 これを制動放射と呼ぶ。

兵庫県にあるSPring-8では、巨 大なリング内で電子線 (8GeV)を回している。

回している(=常に方向を変え ている)ので、制動放射による 光子線を連続的に取り出して実 験に利用できる。



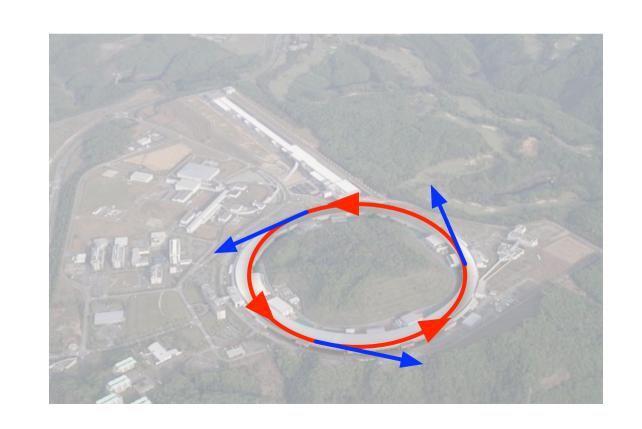
https://ja.wikipedia.org/wiki/SPring-8

~ 制動放射 ~

電荷を持ち、運動エネルギーが高い粒子の運動方向が変わる時に、エネルギーの一部が光子線となって放出されることが有る。 これを制動放射と呼ぶ。

兵庫県にあるSPring-8では、巨 大なリング内で電子線 (8GeV)を回している。

回している(=常に方向を変え ている)ので、制動放射による 光子線を連続的に取り出して実 験に利用できる。





~まとめ~

粒子に電荷が有る場合は、経路に沿って直接的に電離を起こす。 制動放射で光子線を発生することもある。

粒子に電荷が無い場合、物質中で電荷を持つ粒子(電子や陽子) をはじき飛ばし、はじき飛ばされた粒子が間接的に電離を起こす。

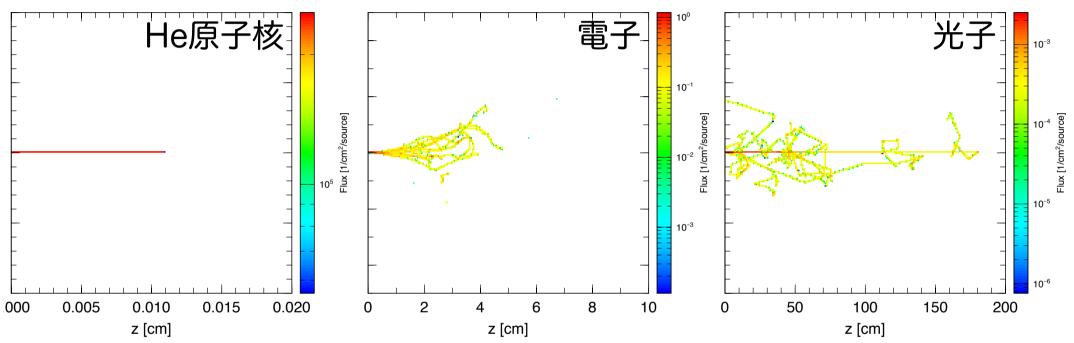


直接・間接的に電離を起こすことで放射線の運動エネルギーが消費され、最終的には放射線としての性質を失う。

放射線は目に見えないが、放射線の物質中での挙動をコンピューターシミュレーションで可視化することはできる。

ここから数枚のスライドでは、一般的な放射線の挙動をPHITS というソフトウェアで可視化した例を示す。

1) 粒子による飛跡の違い



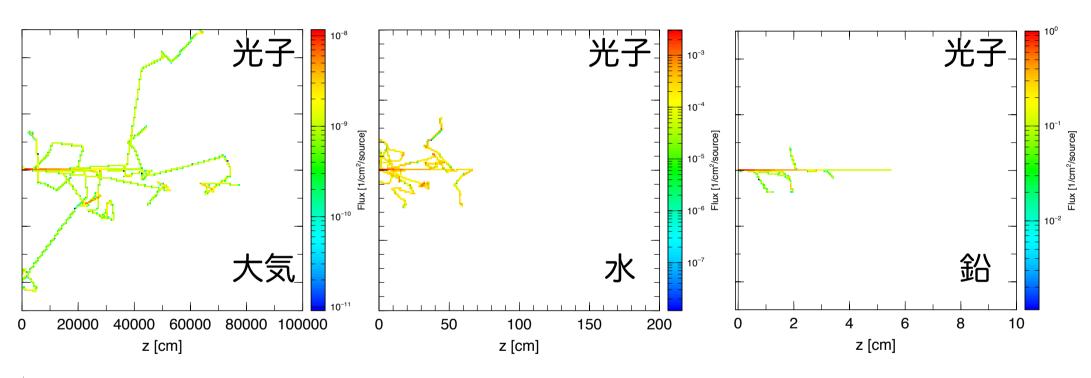
10MeVの運動エネルギーを持つ放射線の水中での飛跡をコンピュー ターでシミュレーションした図(図の左辺中央から入射、10回分の飛 跡を重ねて表示)。

同じ運動エネルギーでも、粒子によって飛距離は大きく異なる。Heの 原子核(α線)は飛跡が短かく、狭い範囲に集中してエネルギーを与 える。逆に光子線(γ 線やX線)は飛跡が長く、広い範囲に少しずつ エネルギーを与える。



あさりよしとお「放射線ってナニモノ?」

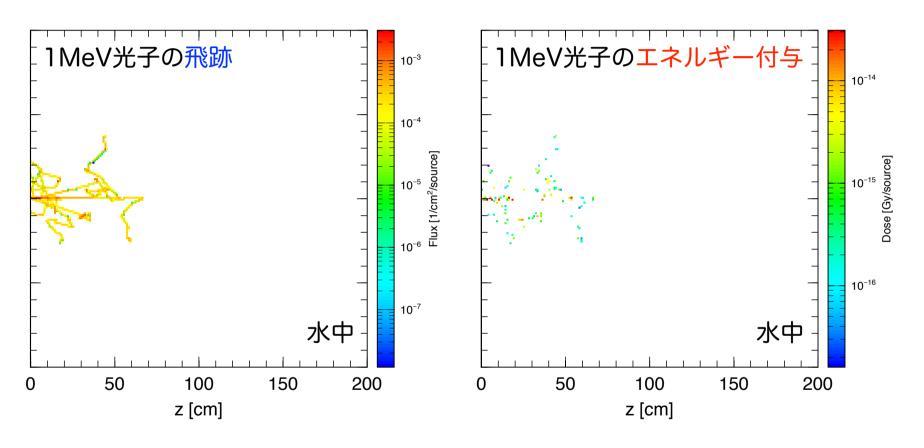
2)物質による飛跡の違い



異なる物質中での1MeVの光子線の飛跡。

同じ粒子・同じ運動エネルギーの放射線でも、通過する物質によって飛距離は異なる。

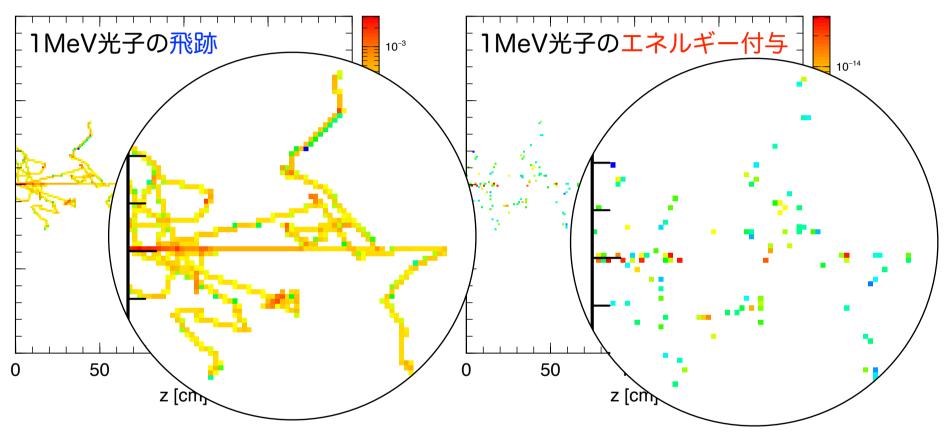
3) 光子によるエネルギー付与パターン



光子線は飛跡そのものにはエネルギーを付与せず、光子線で弾き出された電子が物質にエネルギーを付与(=イオン生成)する。

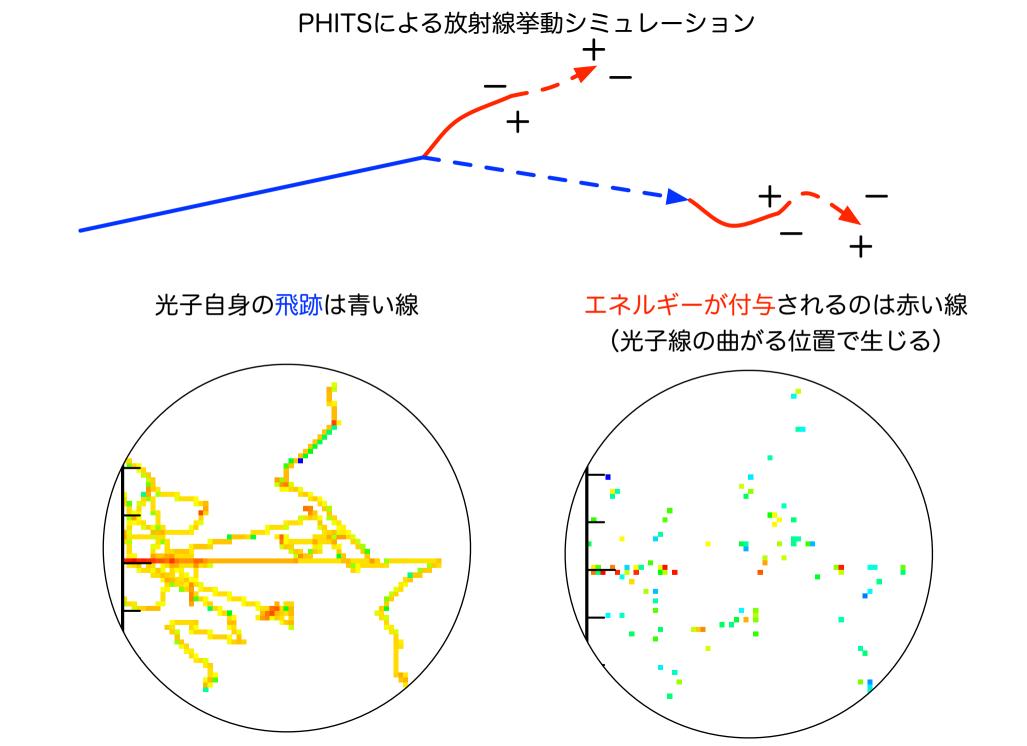
このため、光子のエネルギー付与は広範囲に点状(より正確には短い線状)に散らばる。

3) 光子によるエネルギー付与パターン



光子線は飛跡そのものにはエネルギーを付与せず、光子線で弾き出された電子が物質にエネルギーを付与(=イオン生成)する。

このため、光子のエネルギー付与は広範囲に点状(より正確には短い線状)に散らばる。



余談:放射線の名前

 α 粒子線(=He線) 電子線 光子線 オージェ電子、 転換電子、 δ線、etc. ア線 B線 X線 α線 電子の軌道遷移エネル 原子核の壊変エネルギーで生じる放射線 ギーで生じる放射線

放射線の発生

~何からエネルギーを得て放射線となるか?~

発生源

エネルギーの由来

放射性同位体

放射性同位体(放射性核種)が安定化する際に放出されるエネルギー。

加速器

電場による位置エネルギー。荷電粒子を加速し、運動エネルギーを与えることで放射線とする。この加速した荷電粒子のエネルギーを使って、光子線を発生させることもできる。

宇宙線

一次宇宙線のエネルギーの詳細は未解明な部分が多い。地上まで届くのは、一次宇宙線と大気の相互作用で生じた二次的な線(ミューオンなど)が大部分。

核分裂核種

核分裂のエネルギー。核分裂片(FP)、 γ 線、中性子線など。

放射線の発生

~何からエネルギーを得て放射線となるか?~

発生源

エネルギーの由来

放射性同位体`

加速器

宇宙線

核分裂核種



放射性核種は天然にも存在します。その存在を確認してみましょう。使用するのはGM計数管です。

され

かエネル ፪粒子の ₹る。

B

子線など。

放射線測定の基礎(前編)

~相互作用を捉える~

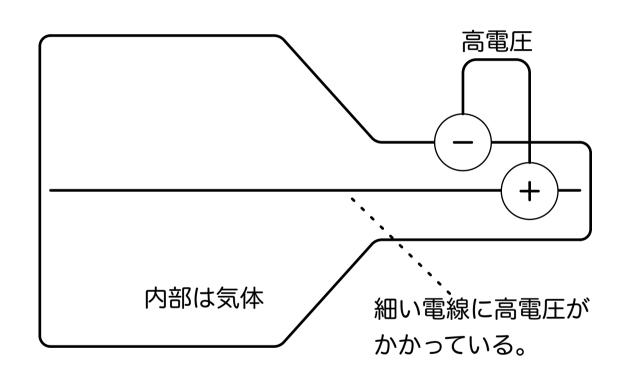


あさりよしとお「放射線ってナニモノ?」

電流を検出する

~ガイガー・ミュラー管(GM管)~





電流を検出する

~ガイガー・ミュラー管(GM管)~

放射線

1:GM管に入射した放射線は、
管内部の気体や管壁面等を電離
させ、電子が発生する。

内部は気体

細い電線に高電圧が
かかっている。

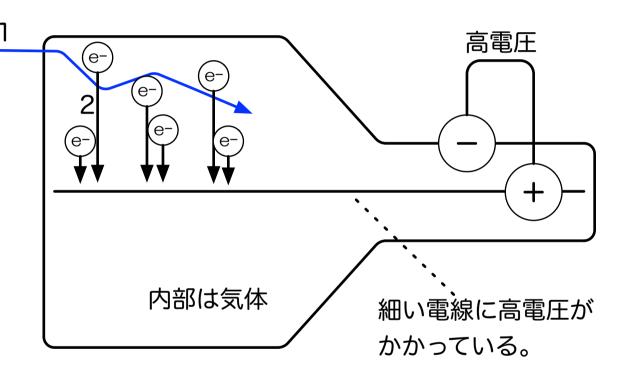
電流を検出する

~ガイガー・ミュラー管(GM管)~

1:GM管に入射した放射線は、 管内部の気体や管壁面等を電離 させ、電子が発生する。

放射線

2:発生した電子は高電圧で加速 され、それ自身も電離を起こす電 子線となる。この結果、電子数が 雪崩式に増加し、容易に検出でき る量となる。



※ GM管を用いていない放射線測定器をガイガーカウンターと呼ぶのは不正確。

GM管実演



御影石(花崗岩)から出る天然の放射線を測定してみます。

化学反応を検出する

~霧箱~

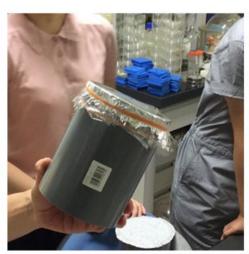
霧箱という装置を用いることで、以下の原理で荷電粒子の 飛跡を観察できる。

- 1) エタノールの蒸気が過飽和となっている空間で電離が起きると、電離したイオンを凝結核として霧が発生する。
- 2) 粒子に電荷が有る放射線は、経路に沿って直接的に電離を 起こす。
- 3) エタノールの蒸気が過飽和となっている空間を、粒子に電荷 が有る放射線が通過すると、放射線の経路に沿って霧が発 生する。

化学反応を検出する

~霧箱~

私たちがいるこの教室にも、宇宙線や大地・建造物からの放射線が飛びかっている。電荷を持つ宇宙線であるミューオン(μ粒子)や、大地放射線で弾き出された電子線などを観察できる。









希望者が多ければ霧箱の作製法を配布します。希望される方はショートレポートに「霧箱作製法希望」と書いて下さい。

化学反応を検出する

~霧箱~

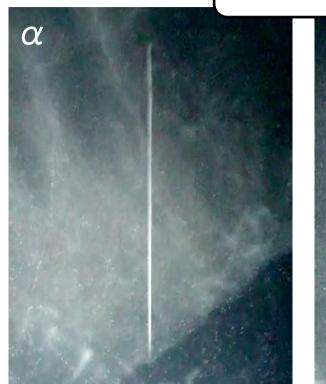
霧箱動画



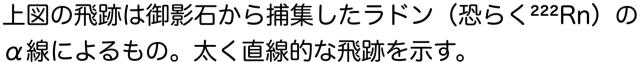
自作霧箱で撮影した動画を紹介します。主に宇宙線の一種で有るミューオンが撮影されています。

化学反応を検出する

~霧箱~







右図の細く曲がりくねった飛跡は電子線によるもの。大地・宇宙からの γ 線によって弾き出された電子線か、何らかの天然核種から出た β 線が見えている。





その他の測定法

今日の講義(前編)では、放射線を直感的・定性的に検出する装置を紹介しました。

次回講義(後編)では、放射性同位体について説明した後、食品等の試料から放出される放射線を詳細に測定することで、試料に含まれる放射性同位体の種類や量を測定できる装置について紹介します。

~何からエネルギーを得て放射線となるか?~

発生源

エネルギーの由来

放射性同位体

放射性同位体(放射性核種)が安定化する際に放出されるエネルギー。

加速器

電場による位置エネルギー。荷電粒子を加速し、運動エネルギーを与えることで放射線とする。この加速した荷電粒子のエネルギーを使って、光子線を発生させることもできる。

宇宙線

一次宇宙線のエネルギーの詳細は未解明な部分が多い。地上まで届くのは、一次宇宙線と大気の相互作用で生じた二次的な線(ミューオンなど)が大部分。

核分裂核種

核分裂のエネルギー。核分裂片(FP)、 γ 線、中性子線など。

~何からエネルギーを得て放射線となるか?~

発生源

エネルギーの由来

放射性同位体

加速器

宇宙線

核分裂核種



https://ja.wikipedia.org/wiki/SPring-8

先ほど紹介したSPring-8のような大規模なものもあれば、 レントゲン撮影装置のような小規模なものもあります。 放出され

、運動エネル た荷電粒子の もできる。

が多 互作用 分。

中性子線など。

~何からエネルギーを得て放射線となるか?~

発生源

エネルギーの由来

放射性同位体

放射性同位体(放射性核種)が安定化する際に放出されるエネルギー。

加速器

電場による位置エネルギー。荷電粒子を加速し、運動エネルギーを与えることで放射線とする。この加速した荷電粒子のエネルギーを使って、光子線を発生させることもできる。

宇宙線

一次宇宙線のエネルギーの詳細は未解明な部分が多い。地上まで届くのは、一次宇宙線と大気の相互作用で生じた二次的な線(ミューオンなど)が大部分。

核分裂核種

核分裂のエネルギー。核分裂片(FP)、 γ 線、中性子線など。

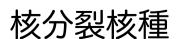
~何からエネルギーを得て放射線となるか?~

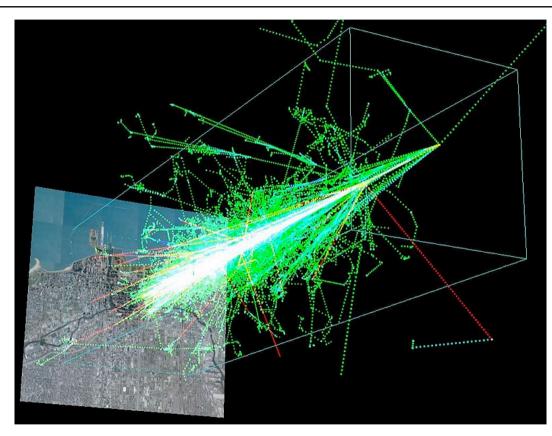
発生源

放射性同位体

加速器

宇宙線





https://en.wikipedia.org/wiki/Air_shower_%28physics%29

この図は1次宇宙線(1TeVの陽子線)が大気と相互作用し、より低エネルギーの多数の2次、3次宇宙線が生じる様子をシミュレーションしたもの。

~何からエネルギーを得て放射線となるか?~

発生源

エネルギーの由来

放射性同位体

放射性同位体(放射性核種)が安定化する際に放出されるエネルギー。

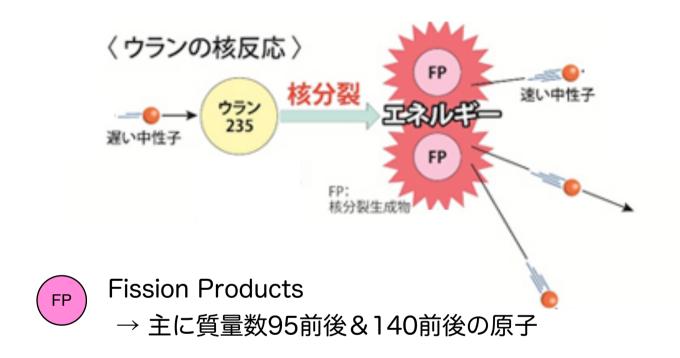
加速器

電場による位置エネルギー。荷電粒子を加速し、運動エネルギーを与えることで放射線とする。この加速した荷電粒子のエネルギーを使って、光子線を発生させることもできる。

宇宙線

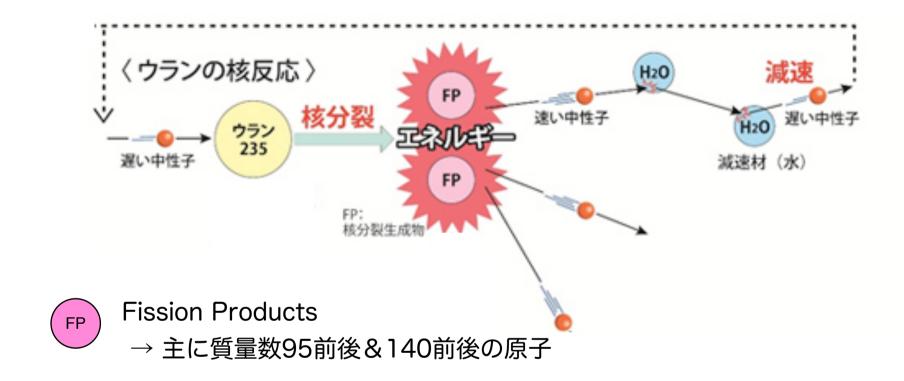
ここから数枚のスライドで、原子 力発電の概要を説明します。

核分裂核種



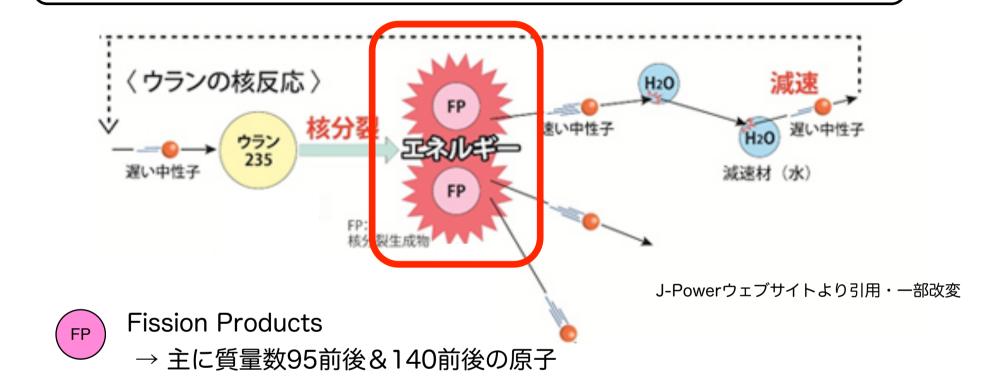
核分裂反応ではウラン235やプルトニウム239が中性子を吸収し、2つの核分裂生成物(FP)といくつかの中性子を放出する。

J-Powerウェブサイト 「原子力発電のしくみと種類」 より引用・一部改変



核分裂反応ではウラン235やプルトニウム239が中性子を吸収し、2つの核分裂生成物(FP)といくつかの中性子を放出する。中性子の1つは次の核分裂に使われる。

J-Powerウェブサイト 「原子力発電のしくみと種類」 より引用・一部改変

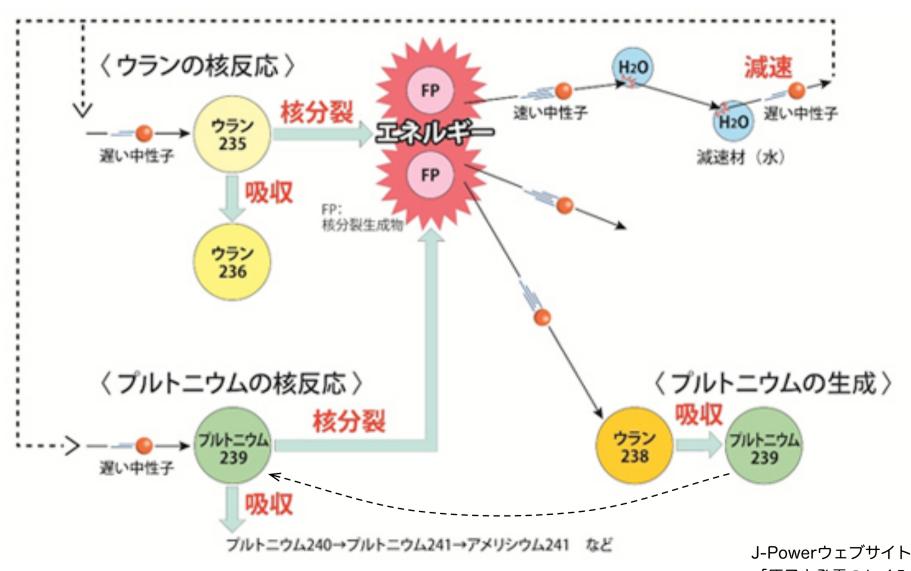


FPは核分裂で生じた大きな運動エネルギーを持っている。 これが即座に熱に変換され、この熱で発生した蒸気を使って発電機を回す。

α粒子(Heの原子核)よりもさらに大きいため、 物質と強く相互作用し、短距離で多量のエネルギー を放出して停止する。

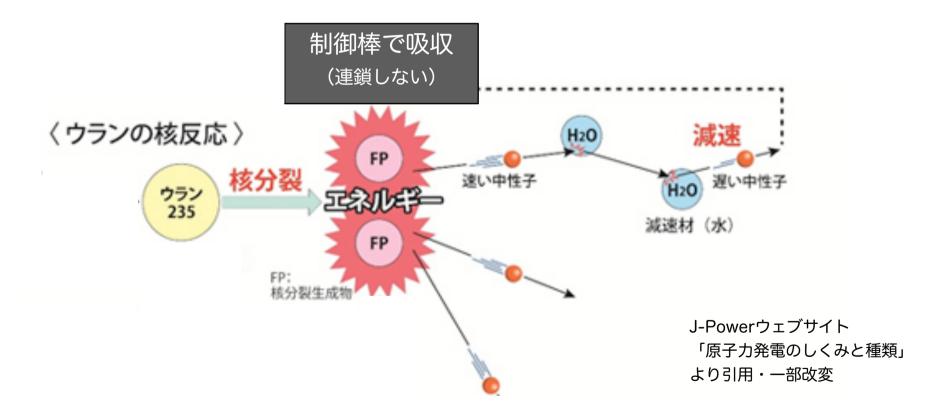
J-Powerウェブサイト 「原子力発電のしくみと種類」 より引用・一部改変

(詳細版)

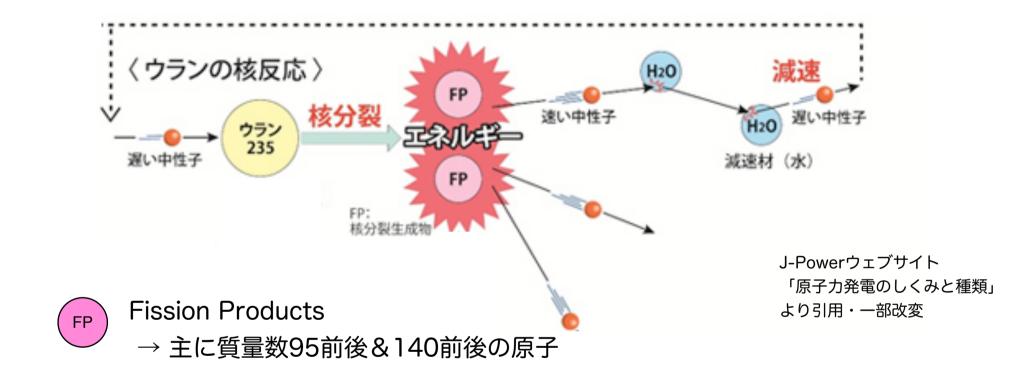


J-Power'フェフリイト 「原子力発電のしくみと種類」 より引用・一部改変

中性子を吸収する素材でできた制御棒で中性子を吸収すると、核分裂の連鎖を止めることができる。



東日本大震災では核分裂の連鎖停止には成功。しかし… → 次回講義で解説



1つのウランが2つのFPと中性子に変化し、その過程で生じるエネルギーを取り出している。このFPの性質が問題。

→ FPの多くは放射性同位体

次回講義では放射性同位体の性質について説明した後、 福島第1原発事故のメカニズムと、事故で放出された放射性同位体について解説します。