

## 主題科目学術フロンティア講義「放射線を科学的に理解する」

### 成績評価

### 《物理分野レポート課題》

出席とレポートで合否判定

### レポート

各分野ごとに1本選択、合計3本（それより多く提出してもよい）。  
以下の提出期限日もしくはそれ以前の各回の、講義後に提出すること。

物理分野	： 鳥居	締切： 12月20日(月)
環境化学分野	： 小豆川	締切： 1月11日(火)
生命科学分野	： 渡邊、坪倉、藤原	締切： 1月18日(火)

### レポート課題 物理分野 #1

(a), (b) 両方に回答。

(a) 放射線と物質（原子・分子）との相互作用の知識をもとに、 $\alpha$ 線・ $\beta$ 線・ $\gamma$ 線の場合のそれぞれについて、内部被曝と外部被曝の影響の違いについて述べよ。

(b)  $\gamma$ 線の遮蔽に鉛が有効なのはなぜか。一方で、 $\beta$ 線の遮蔽にはアクリルやアルミの板が用いられ、鉛を使ってはいけない。なぜだろうか。

### レポート課題 物理分野 #2

放射線と物質（原子・分子）との相互作用の知識をもとに、(a) GM管 (b) NaI シンチレータの2種類の放射線検出器について、放射線計測の動作原理について説明した後、 $\alpha$ 線、 $\beta$ 線、 $\gamma$ 線のそれぞれの場合について、反応過程と検出効率を論ぜよ。

(※ GM管についての参考文献：基礎物理学実験教科書 GM管・霧箱 種目)

### レポート課題 物理分野 #3

\* この課題の選択は、文系、あるいは、理科 II, III 類で高校時代に物理を履修しなかった（入試で選択しなかった）学生に限る。

自然放射線は、日本各地あるいは世界各地で、場所ごとに線量が異なる。具体的に特徴的な場所を複数選んで、その地域の放射線量および放射線の種類を述べ、その要因について解説せよ。

また、放射線の規制はどうあるべきか。自然放射線量が年間 数 mSv 以上の地域がある一方で、法律は公衆の追加線量を年間 1 mSv までとしているが、医療被曝は対象としないこと、低線量被曝の人体への影響の知見も踏まえて、考えを述べよ。福島県の避難区域について、帰還の目安はどうするのがよいと思うか。

## レポート課題 物理分野 #4

(a)~(f)のうち4題(またはそれ以上)に回答。

(a) 5 MeV の  $\alpha$  線の速度を、光速との比として求めよ。質量は  $\text{MeV}/c^2$  の単位で計算すること(第2回の講義中に計算したことの復習)。

(b) 5 MeV の  $\alpha$  線の軌跡周辺に生じるイオン・電子対はいくつできるか。 $\alpha$  線の運動エネルギーのうち、6割程度は原子・分子の励起に費やされて、イオン化には寄与しないことに注意せよ。

(c) 放射性セシウムの濃度が  $8000 \text{ Bq/kg}$  を超える焼却灰は指定放射性廃棄物として管理・処分する必要がある。この基準丁度の灰に含まれる原子核のうち、放射性セシウムの割合はどの程度か。

【ヒント:  $1 \text{ Bq}$  とは1秒に平均1個、放射性核種が崩壊する放射能強度である。放射性核種は長期にわたって、時間とともに指数関数的に減少しながら次々に崩壊していくが、その数を積算(積分)すれば、もともと存在した放射性核種の個数を求めることができる。

(d)  $\beta$  線や  $\gamma$  線による被曝では、 $\text{Sv} = \text{Gy} = \text{J/kg}$  と考えてよい。がんの放射線治療では、典型的に1回あたり  $2 \text{ Sv} = 2000 \text{ mSv}$  という大量の照射をし、日をおいてこれを数十回繰り返す。 $2 \text{ Sv}$  の線量を浴びることによる、照射部位の温度上昇は(血流などによる熱の拡散がないと仮定した場合)どの程度と計算されるか。このことから、放射線による影響はその熱の効果ではないことが分かるであろう。

★ 光速に匹敵する速度の粒子は Newton 力学ではなく、Einstein の相対性理論に従って取り扱う必要がある。運動量は  $p = mv\gamma = mc\beta\gamma$  で与えられる。

ここに  $\beta = v/c$ ,  $\gamma = 1/\sqrt{1-\beta^2}$  である。

質量エネルギー  $mc^2$  を含めた全エネルギーは  $E = \sqrt{(pc)^2 + (mc^2)^2}$  で与えられ、運動エネルギーは  $T = E - mc^2$  で定義される。

(e) 全エネルギーは質量エネルギー  $mc^2$  の何倍か。記号で表せ。

(f) 電子の質量は  $0.511 \text{ MeV}/c^2$  である。運動エネルギー  $1 \text{ MeV}$  の  $\beta$  線の速度を求めよ。光速の何%か。

## レポート課題 物理分野 #5

原子炉内で核分裂または放射化により生成する放射性核種にはどんなものがどんな割合で存在するか。それら核種の崩壊についても説明せよ。そうした多種多様な核種のうち  $^{131}\text{I}$  や  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  などが特に問題となるのはなぜか。

## レポート課題 物理分野 #6

なにかひとつ、工学・医療などに利用されている放射性核種を選び、その寿命や崩壊の種類、放出される放射線のエネルギーなどを調べてみよ。その核種が利用される特徴はどこにあるか。余力があれば、その元素の他の同位体についても調べてみよ。

## レポート課題 物理分野 #7

以下の計算課題 (A), (B) の両方に回答せよ。

### (A) $^{40}\text{K}$ の内部被曝

体重 60 kg の人の体内にはカリウム元素が通常 130 g 程度含まれている。このうち 0.0117% は放射性同位体の  $^{40}\text{K}$  (半減期 12.8億年) である。

- (i) この  $^{40}\text{K}$  による放射能は何ベクレルか。
- (ii) 1 Bq の  $^{40}\text{K}$  が体全体に与える実効線量率は何  $\mu\text{Sv/h}$  と見積もられるか。
- (iii) 体内にある  $^{40}\text{K}$  による被曝は年間 何 mSv/年 に相当するか。

### (B) $^{131}\text{I}$ の崩壊熱

福島第一原発から放出された  $^{131}\text{I}$  は 15万 TBq ( $T=10^{12}$ ) と言われている。原子炉の中には、当初その10倍前後の  $^{131}\text{I}$  が、1号機から3号機までの各々の炉内に存在していた。

- (i) 放出された  $^{131}\text{I}$  は全部で何グラムに相当するか。
- (ii) 各炉内において、 $^{131}\text{I}$  による崩壊熱は当初何ワットであったと推定されるか。放出される  $\beta$  線と  $\gamma$  線のどちらも炉内の水で全てのエネルギーを失うとして計算するとよい。  
(※ 実際の炉内では他のあらゆる核種による崩壊熱が積算される。)
- (iii) 原子炉容器内の適当な水量を仮定して、 $^{131}\text{I}$  の寄与による温度上昇率を見積もってみよ。なお、水の冷却循環装置は電源喪失のため止まっていた。