

令和 6 年度

## 第 2 種放射線取扱主任者試験

### 問題と解答例

物理学 化学 生物学

解答例は公益社団法人日本アイソトープ協会放射線安全取扱部会が解答の一案として作成したものです。

・正誤票の内容（生物学問 11）は修正済みです。

※物理学の問 11 の図 1、生物学問 11 の設問 F に出題ミスがあります。詳細は原子力安全技術センターの発表 ([https://www.nustec.or.jp/pdf/20240930\\_rihm.pdf](https://www.nustec.or.jp/pdf/20240930_rihm.pdf)) にてご確認ください。

次の問1から問10について、5つの選択肢のうち適切な答えを1つだけ選び、また、問11の文章の□の部分について、解答群の選択肢のうち最も適切な答えを1つだけ選び、注意事項に従って解答用紙に記入せよ。

---

問1 エネルギーの大きい順に並べられているものは、次のうちどれか。

- A 1 eV
- B 1 Wh
- C 1 J

1  $A > B > C$    2  $A > C > B$    3  $B > A > C$    4  $B > C > A$    5  $C > B > A$

〔解答〕 4

〔解説〕

それぞれのエネルギーを J (ジュール) で表すと、

$$A: 1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$B: 1 \text{ Wh} = 3600 \text{ Ws} = 3600 \text{ J}$$

$$C: 1 \text{ J}$$

よって、 $B > C > A$  となる。

問2 次の記述のうち、正しいものはどれか。

- 1 原子の半径はおよそ  $1 \times 10^{-6} \text{ m}$  である。
- 2 原子核の密度は原子番号が大きいほど小さくなる。
- 3 陽子数より中性子数が少ないほど原子核は安定する。
- 4 核子1個あたりの結合エネルギーは質量数に比例する。
- 5 陽子と中性子の質量の和より、重水素の原子核の質量の方が小さい。

〔解答〕 5

〔解説〕

1：誤 原子の大きさはおよそ  $10^{-10} \text{ m}$  である。

2：誤 核子が増加するにつれて原子核の大きさは大きくはなるが、その密度は一定である。

3：誤 安定な原子核では質量数が増加すると中性子数が陽子数より多くなる。

4：誤 核子1個あたりの結合エネルギーは、質量数50～60で最も大きくなり、質量数がこれより小さくても、大きくても小さくなる。

5：正 原子の質量は、それを構成する粒子の質量の総和よりも小さい。その差を質量欠損といい、原子核の結合エネルギー分だけ軽くなる。

問3 放射性壊変に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 半減期は温度により変化する。

- B 放射能が同じ放射性核種を比較したとき、原子核の数は半減期に比例する。  
C 半減期の10倍が経過したとき、放射能は100分の1に減衰する。  
D 放射性核種を容器に密封したとき、時間と共に容器内の放射能が増加する場合がある。
- 1 AとB          2 AとC          3 AとD          4 BとD          5 CとD

〔解答〕 4

〔解説〕

A：誤 放射性壊変に関する半減期は、熱、電磁場、温度や圧力など物理的環境、化学結合状態、化学的作用によって変化することはない。

B：正 放射能  $A$  [Bq]、原子核の数  $N$ 、半減期  $T$  としたとき、

$$A = \lambda N \quad \lambda : \text{壊変定数} (\lambda = \ln 2 / T) \text{ となり、}$$

$$N = A / \lambda = A / (\ln 2 / T) = A \times (T / \ln 2) \text{ となる。}$$

したがって、放射能  $A$  が同じ場合、原子の数  $N$  は半減期  $T$  に比例する。

C：誤 ある時点での放射能を  $A_0$  [Bq]、ある時点から  $t$  日経過後の放射能を  $A$  [Bq]、半減期を  $T$  [日] とすると、以下の式が成り立つ。

$$A = A_0 \times \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$$

半減期の10倍経過後なので、 $t = 10T$  となり、 $(1/2)$  の10乗で  $1/1024$  に減衰する。

D：正 放射性核種は密封されているので、新たに親核種が供給されることはない。この状態において、親核種が壊変して娘核種になり、その娘核種も放射性核種で、引き続き壊変する場合には、娘核種の半減期よりも十分短い時間の中では、娘核種の原子核数が増加し、結果として放射能が増加する場合がある。

問4 次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 3 MeV の  $\alpha$  線は同じエネルギーの電子線に比べて比電離が大きい。  
B 電子線の制動放射は物質の原子番号が大きいほど発生する確率が高い。  
C 電子線はエネルギーが低くなるにつれて全阻止能に対する放射阻止能の割合が大きくなる。  
D 荷電粒子の速度が物質中の光速を超えるとチェレンコフ光が発生する。
- 1 ABCのみ    2 ABDのみ    3 ACDのみ    4 BCDのみ    5 ABCDすべて

〔解答〕 2

〔解説〕

A：正 比電離とは、荷電粒子が物質通過中その進路の単位長さあたりにつくるイオン対の数である。粒子線のエネルギーが同じとき、比電離は粒子線の粒子の質量に比例して大きい。 $\alpha$  線の質量は、陽子2個と中性子2個のヘリウムの原子核と同じで、約  $6.7 \times 10^{-27}$  kg、電子の質量は、 $9.1 \times 10^{-31}$  kg である。質量の大きな  $\alpha$  線の方が比電離が大きい。（「10 版放射線取扱の基礎-第1種放射線取扱主任者試験の要点」（日本アイソトープ協会）I 物理 p.7～8）

- B: 正 電子線と物質の相互作用において、電子線の制動放射は、電子線のエネルギーが約 1MeV までは無視できるが、それ以上ではエネルギーが高いほど、物質の原子番号が高いほど大きくなる。
- C: 誤 阻止能とは、荷電粒子が物質を通過するとき単位距離または単位密度あたりの平均のエネルギー損失量である。電子線が物質中でエネルギーを失うのは、電子との衝突に起因する電離又は励起によるものと、制動放射線の放出の2通りがある。前者を衝突阻止能、後者を放射阻止能といい、エネルギーの低い電子線では、放射阻止能は衝突阻止能に比べて非常に小さい。
- D: 正 真空中では、質量を持つ粒子は光速より大きな速度を持つことはできないが、媒質中では、媒質中の光速より大きな速度を持つことができる。荷電粒子が媒質中で光速より大きな速度を持つと光を発生する。この現象をチェレンコフ効果という。

問5 ある荷電粒子1個が水を通じた際に、水 1.0 g あたり 4.0 MeV のエネルギーが吸収された。この粒子が、同じ条件で毎秒 100 個通過したときの吸収線量率[nGy・s<sup>-1</sup>]として最も近い値は、次のうちどれか。

- 1 0.40                      2 4.0                      3 6.4                      4 40                      5 64

〔解答〕 5

〔解説〕 荷電粒子1個が水 1.0 g あたりで 4.0 MeV のエネルギーが吸収されたことから、Gy (J/kg) の単位に合わせて計算するため、水 1.0 kg あたりで考えると 4.0 GeV のエネルギーが吸収されることになる。1 秒あたりの粒子数が 100 個なので、この場合は 400 GeV である。

1 eV  $\doteq$   $1.6 \times 10^{-19}$  J より、

$$400 \text{ GeV} = 400 \times 10^9 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J} = 6.4 \times 10^{-8} \text{ J}$$

となり、1 秒あたりの吸収線量は、64 nGy に相当することになる。

問6 次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 光電効果では、光子のエネルギーの半分が原子核に与えられる。
- B コンプトン効果では、コンプトン電子のエネルギーは連続分布を示す。
- C 電子対生成では、電子に与えられる運動エネルギーは陽電子に与えられるエネルギーの2倍程度である。
- D 細くコリメートされて一様な物質に入射した単色光子の数は、入射方向に沿って指数関数的に減少する。

- 1 A と B                      2 A と C                      3 B と C                      4 B と D                      5 C と D

〔解答〕 4

〔解説〕

A: 誤 光電効果では、光子はエネルギーをすべて軌道電子に与え、自らは消滅する。たたき出され

た2次電子の運動エネルギーは、もとの光子のエネルギーから軌道電子の結合エネルギーを差し引いたものになる。

B: 正 コンプトン効果は自由電子と光子との散乱と考えることができる。コンプトン効果では、散乱後のコンプトン電子のエネルギーは光子の散乱角の関数であり、連続分布を示す。

C: 誤 電子対生成は、1.022 MeV 以上の光子が原子核に接近したとき、光子は消滅して、電子と陽電子対を生成することがある。このときのエネルギーは等分に配分され、電子に与えられるエネルギーと陽電子に与えられるエネルギーは同じである。

D: 正  $N_0$ : 初めに入射した光子数、 $N$ : 入射した光子数、 $\mu$ : 線減弱係数、 $x$ : 物質の厚さとしたとき、 $N = N_0 e^{-\mu x}$  の式で表される。光子数は指数関数的に減衰する。(「8 版密封線源の基礎-第2種・第3種放射線取扱主任者のために」(日本アイソトープ協会) 1 放射線の基礎 p.28)

問7  $^{137}\text{Cs}$  線源から放出された  $\gamma$  線のコンプトン散乱において、反跳電子の最大エネルギー[keV]に最も近い値は、次のうちどれか。

1 480

2 520

3 560

4 610

5 660

〔解答〕 1

〔解説〕コンプトン散乱は光子と電子との散乱で、エネルギー保存則と運動量保存則により、反跳電子のエネルギーを求めることができる。コンプトン散乱において反跳電子のエネルギーが最大になるのは、散乱光子のエネルギーが最小のときである。散乱光子のエネルギー( $E_{\gamma'}$ )は、次式で与えられ、散乱光子のエネルギー( $E_{\gamma'}$ )が最小になるのは、光子の散乱角度  $\theta$  が  $180^\circ$  のときである。

$$E_{\gamma'} [\text{MeV}] = \frac{E_{\gamma}}{1 + \frac{E_{\gamma}}{0.511}(1 - \cos \theta)}$$

$E_{\gamma}$ :  $^{137}\text{Cs}$  から放出されるガンマ線のエネルギー 0.662 MeV

上式より、散乱光子のエネルギー( $E_{\gamma'}$ )は約 0.185 MeV となる。

したがって、反跳電子の最大エネルギーは、 $662 \text{ keV} - 185 \text{ keV} = 477 \text{ keV}$  となる。

(「10 版放射線取扱の基礎-第1種放射線取扱主任者試験の要点」(日本アイソトープ協会) 1 物理 p.61~62)

問8 常温における熱中性子のエネルギーの最確値[eV]に最も近い値は、次のうちどれか。

1 0.0025

2 0.025

3 0.25

4 2.5

5 25

〔解答〕 2

〔解説〕エネルギーの高い中性子が散乱を繰り返して減速した中性子は、物質中の温度で決まる熱エ

エネルギーまで減速される。この状態の中性を熱中性子という。常温における熱中性子のエネルギーは 0.025 eV である。(「10 版放射線取扱基礎-第1種放射線取扱主任者試験の要点」(日本アイソトープ協会) 物理 p.69)

問9 次の量と単位の関係のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A LET  $\text{J} \cdot \text{m}^{-1}$   
B カーマ  $\text{kg} \cdot \text{J}^{-1}$   
C 吸収線量  $\text{J} \cdot \text{kg}$   
D 粒子フルエンス  $\text{m}^{-2}$

- 1 AとB                  2 AとC                  3 AとD                  4 BとD                  5 CとD

〔解答〕 3

〔解説〕

A：正 線エネルギー付与 (Linear Energy Transfer) は単位長さあたりに与えるエネルギー。

B：誤 単位質量あたりの吸収エネルギーなので、 $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$

C：誤 単位質量あたりの吸収エネルギーなので、 $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$

D：正 単位面積あたりに通過する粒子数である。

問10 ある放射線源からの放射線を10分測定し、1分当たりの平均の計数は640カウントであった。計数率に対する相対標準偏差[%]として最も近い値はどれか。

- 1 0.60                  2 1.2                  3 2.4                  4 3.0                  5 3.6

〔解答〕 2

〔解説〕 10分間の総計数値は  $640 \times 10 = 6400$  カウント。

よって、その計数値の相対標準偏差は、 $1/\sqrt{6400} \times 100\% = 1.25$

問11 次の文章の□の部分について、解答群の選択肢のうち最も適切な答えを1つだけ選べ。ただし、各選択肢は必要に応じて2回以上使ってもよい。

図1に $^{22}\text{Na}$ の壊変図を示す。 $^{22}\text{Na}$ は半減期2.60年で電子捕獲又は最大エネルギー0.546 MeVの陽電子を放出する $\beta^+$ 壊変を起こし、□Aの励起状態となる。励起状態の核種からは直ちに $\gamma$ 線が放出され基底状態の□Aとなる。以上より、 $^{22}\text{Na}$ の壊変エネルギーは□ア MeVとなることがわかる。放出される陽電子は電子の□Bであり、正の電荷を持ち、電子と比較し、絶対値として□C電荷量、□D質量を持つ。

物質中で運動エネルギーを失った陽電子は、物質中の電子と結合して、高エネルギーの光子を放出する。この現象は□Eと呼ばれる。完全に静止した電子・陽電子が□Eを起こし、2個の光子を放出する場合、2個の光子は180度反対方向に放出されるが、実際には電子・陽電子がそれぞれわずかな運動量を持つため、放出される角度は180度よりわずかにずれる。ここでは、放出される光子のエネルギーと180度よりずれる角度を考察する。

図2に示すように、反対方向に光子が放出される事象が発生した位置を座標の原点Oにとり、放出される2個の光子のうち、片方の飛行方向をX軸、もう片方の飛行方向とX軸とのなす角を $\theta$ 、X軸と直交する方向にY軸を定義する。□E直前の電子と陽電子の全運動量を $p$ 、放出される光子の運動量をそれぞれ $p_1$ 、 $p_2$ とする。また、 $p$ をX方向の成分 $p_x$ とY方向の成分 $p_y$ に分ける。一般に、光速を $c$ とし質量 $M$ の粒子の運動量を $P$ とすると、全エネルギー $E$ は次式となる。

$$E = Mc^2 \left( 1 + \frac{P^2}{M^2 c^2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\approx Mc^2 + \frac{P^2}{2M} \quad \left( \text{ただし、} \frac{P^2}{M^2 c^2} \ll 1 \text{ の場合} \right)$$

次に、電子の質量を $m$ とし、□E前後におけるエネルギー保存則を考えると、この近似を利用して次式が得られる。

$$cp_1 + cp_2 = \boxed{\text{イ}} + \frac{p^2}{4m} \quad (1)$$

また、運動量保存則より、

$$p_1 - p_2 \cos \theta = p_x \quad (2)$$

$$p_2 \sin \theta = p_y \quad (3)$$

が得られる。

ここで□イ $\gg \frac{p^2}{4m}$ とすると、式(1)と式(2)より次式が得られる。

$$p_2(1 + \cos \theta) = 2mc - p_x \quad (4)$$

また、式(3)において、 $mc \gg p_y$ および $p_2 \approx mc$ とすると、

$$\sin\theta = \frac{p_y}{p_2} \ll 1 \quad (5)$$

となる。

従って、式(4)と(5)より、運動量  $p_2$  を持つ光子のエネルギーは、

$$cp_2 = mc^2 - \boxed{\text{ウ}} \quad (6)$$

と表せる。これは、 $\boxed{\text{F}}$  効果によって光子のエネルギーが  $mc^2$  からずれることを意味している。

また、式(3)において、 $\sin\theta \approx \theta$  とすると、

$$p_y = p_2\theta = mc\theta \quad (7)$$

となる。ここで、 $p_y = 5.11 \times 10^{-4} [\text{MeV}] / c$  の場合を考えると、 $\theta = \boxed{\text{エ}}$  ラジアンを得る。

<A の解答群>

- |                    |                    |                    |                    |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1 $^{21}\text{Ne}$ | 2 $^{22}\text{Ne}$ | 3 $^{23}\text{Ne}$ | 4 $^{23}\text{Na}$ |
| 5 $^{24}\text{Na}$ | 6 $^{23}\text{Mg}$ | 7 $^{24}\text{Mg}$ |                    |

<B～D の解答群>

- |       |         |        |       |         |
|-------|---------|--------|-------|---------|
| 1 同素体 | 2 同位体   | 3 同重体  | 4 反粒子 | 5 より小さい |
| 6 等しい | 7 より大きい | 8 2 倍の | 9 半分の |         |

<E の解答群>

- |             |        |         |
|-------------|--------|---------|
| 1 エネルギー損失分光 | 2 制動放射 | 3 弾性散乱  |
| 4 電子対消滅     | 5 電子流動 | 6 非弾性散乱 |

<F の解答群>

- |         |         |          |
|---------|---------|----------|
| 1 光電    | 2 コンプトン | 3 タウンゼント |
| 4 ドップラー | 5 トンネル  | 6 ミグダル   |

<ア の解答群>

- |         |        |        |        |
|---------|--------|--------|--------|
| 1 0.511 | 2 1.02 | 3 1.27 | 4 1.82 |
| 5 2.84  | 6 3.35 | 7 3.86 |        |

<イ の解答群>

- |          |           |           |                     |                     |
|----------|-----------|-----------|---------------------|---------------------|
| 1 $mc^2$ | 2 $2mc^2$ | 3 $4mc^2$ | 4 $\frac{1}{2}mc^2$ | 5 $\frac{1}{4}mc^2$ |
| 6 $mc$   | 7 $2mc$   | 8 $4mc$   | 9 $\frac{1}{2}mc$   | 10 $\frac{1}{4}mc$  |

<ウ の解答群>

- |                    |                      |                    |                      |
|--------------------|----------------------|--------------------|----------------------|
| 1 $cp_x$           | 2 $cp_x^2$           | 3 $2cp_x$          | 4 $2cp_x^2$          |
| 5 $\frac{cp_x}{2}$ | 6 $\frac{cp_x^2}{2}$ | 7 $\frac{cp_x}{4}$ | 8 $\frac{cp_x^2}{4}$ |

<エ の解答群>

1  $1.00 \times 10^{-6}$

2  $1.00 \times 10^{-5}$

3  $1.00 \times 10^{-4}$

4  $1.00 \times 10^{-3}$

5  $1.00 \times 10^{-2}$

6  $1.00 \times 10^{-1}$

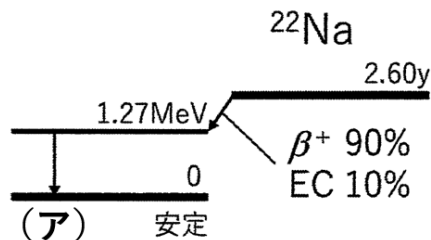


図1  $^{22}\text{Na}$  の壊変図

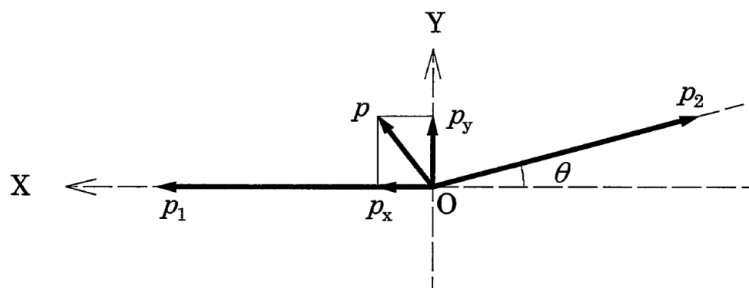


図2 運動量保存則を定式化するときの座標系

〔解答〕 A－2 B－4 C－6 D－6 E－4 F－4 アー正答なし※ イ－2 ウ－5 エ－4

〔解説〕

A： $^{22}\text{Na}$  は壊変によって  $^{22}\text{Ne}$  になる。

B：陽電子は電子の反粒子である。

C、D：陽電子と電子は絶対値として等しい電荷量、等しい質量を持つ。

E：陽電子とその反粒子の電子対消滅の説明である。

F：本問題文は、消滅ガンマ線のドップラー効果による広がりを説明したものである。

ア：出題ミスのため正答なし

イ：電子対消滅前後のエネルギー保存則から陽電子、電子それぞれのエネルギーを考え、

$$cp_1 + cp_2 = E_{(\text{陽電子} + \text{電子})} = 2mc^2 + p^2/4m$$

ウ：式(5)  $\sin \theta \ll 1$  かつ、問題文「放出される角度は180度よりわずかにずれる」より  $\cos \theta = 1$  と考える

そのため、式(4)は  $2p_2 = 2mc - p_x$  となる。

したがって、 $cp_2 = mc^2 - cp_x/2$  となる

エ：式(7)および  $p_y = 5.11 \times 10^{-4} / c$  から

$\theta = 5.11 \times 10^{-4} / mc^2$  となる。 $mc^2$  は、電子の静止エネルギー:0.511 MeV であるため、代入すると、 $\theta = 1.00 \times 10^{-3}$  となる。

次の問 1 から問 10 について、5 つの選択肢のうち適切な答えを 1 つだけ 選び、また、問 11 の文章の  の部分について、解答群の選択肢のうち最も適切な答えを 1 つだけ 選び、注意事項に従って解答用紙に記入せよ。

---

問 1 核種 A(半減期 3 時間)と核種 B(半減期 4 時間)の放射能が等しいとき、A の放射能が B の放射能の  $1/4$  になる時間[h]に最も近い値は、次のうちどれか。ただし、核種 A と核種 B の壊変は独立である。

- 1 1                      2 6                      3 12                      4 24                      5 36

〔解答〕 4

〔解説〕

ある時点での放射能を  $A_0[\text{Bq}]$ 、ある時点からの経過時間を  $t$  とし、経過時間  $t$  における放射能を  $A[\text{Bq}]$ 、半減期を  $T$  とすると、以下の式が成り立つ。

$$A = A_0 \times \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$$

上式を用いて、

初めの核種 A、核種 B の放射能を  $X_0$  とすると、問題文より

$$X_0 \times \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{3}} = X_0 \times \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{4}} \times \frac{1}{4}$$

となるので、 $t = 24[\text{h}]$ 。

問 2 1 GBq の  $^{54}\text{Mn}$  がある。1 半減期経過するまでに放射する  $\gamma$  線の総数を求める計算式として正しいものは次のうちどれか。ここで、 $^{54}\text{Mn}$  は 1 壊変で 1 本の  $\gamma$  線を放出し、その半減期は  $T$  秒とする。

- 1  $10^9 \times T \div \ln 2$   
 2  $10^9 \times T \div 2$   
 3  $10^9 \div T \times \ln 2$   
 4  $10^9 \times T \div 2 \div \ln 2$   
 5  $10^9 \times T \div 2 \times \ln 2$

〔解答〕 4

〔解説〕 原子数の変化を考える

初めの原子数を  $N_0$ 、1 半減期後の原子数を  $N_1$ 、また、最初の放射能を  $A_0$ 、1 半減期後の放射能を  $A_1$ 、 $^{99}\text{Mn}$  の壊変係数を  $\lambda$  とすると 1 半減期での原子数の変化は

$$dN = N_0 - N_1 = A_0/\lambda - A_1/\lambda$$

と表すことができる。次に 1 半減期後の放射能は最初の半分になるので、 $A_1 = A_0/2$ 、

壊変定数  $\lambda$  は、 $\lambda = \ln 2/T$  と表すことができる。

$A_0 = 1 \times 10^9 \text{ Bq}$  なので

$$dN = 10^9 \times T \div 2 \div \ln 2$$

問3 精製した  $^{99}\text{Mo}$ (半減期 66 時間)から生成する  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (半減期 6.0 時間)についての記述として正しいものの組み合わせはどれか。

- A  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  は  $^{99}\text{Mo}$  の  $\beta^-$ 壊変で生成する。
- B  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  の原子数は、精製してから 66 時間後に減少し始める。
- C  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  の放射能は、 $^{99}\text{Mo}$  の精製直後には増加する。
- D  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  と  $^{99}\text{Mo}$  の間には過渡平衡が成立する。

- 1 ABC のみ      2 ABD のみ      3 ACD のみ      4 BCD のみ      5 ABCD すべて

〔解答〕3

〔解説〕

A：正  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  は  $^{99}\text{Mo}$  の  $\beta^-$ 壊変で生成する。

B：誤  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  は  $^{99}\text{Mo}$  の間には過渡平衡が成立し、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  の放射能が最大となる時間 ( $t_{\text{max}}$ ) とすると、

$$\begin{aligned} t_{\text{max}} &= 1/(\lambda_1 - \lambda_2) \times \ln(\lambda_1/\lambda_2) \\ &= 1/(0.693/66 - 0.693/6) \times \ln((0.693/66)/(0.693/6)) \\ &= 1/(0.0105 - 0.1155) \times \ln(1/11) \\ &\doteq 1/-0.1 \times (-\ln 11) = -10 \times (-2.3) = 23 \text{ 時間} \end{aligned}$$

C：正

D：正

問4  $^3\text{H}$ 、 $^{32}\text{P}$ 、 $^{35}\text{S}$  および  $^{45}\text{Ca}$  に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A いずれも (n,p) 反応で製造できる。
- B いずれも  $\beta^-$ 壊変核種である。
- C 半減期が最も短いものは  $^{32}\text{P}$  である。
- D 半減期が最も長いものは  $^{45}\text{Ca}$  である。

- 1 ABC のみ      2 AB のみ      3 AD のみ      4 CD のみ      5 BCD のみ

〔解答〕1

〔解説〕

A：正 (n, p) 反応の例を示す。



B：正  $^3\text{H} \rightarrow ^3\text{He} + e + \bar{\nu}$





e : 電子  $\bar{\nu}$  : 反ニュートリノ

C : 正  $^3\text{H}$  : 12.32 年

$^{32}\text{P}$  : 14.263 日

$^{35}\text{S}$  : 87.51 日

$^{45}\text{Ca}$  : 162.67 日

D : 誤

問5 ウラン系列およびトリウム系列に関する次の記述のうち正しいものの組合せはどれか。

A トリウム系列では6回の $\alpha$ 壊変を経て安定同位体となる。

B トリウム系列では $^{222}\text{Rn}$ が生成する。

C ウラン系列は $^{206}\text{Pb}$ で終わる。

D ウラン系列では $^{234}\text{U}$ が生成する。

1 ABCのみ      2 ABDのみ      3 ACDのみ      4 BCDのみ      5 ABCDすべて

〔解答〕3

〔解説〕

出典：(「10版放射線取扱の基礎-第1種放射線取扱主任者試験の要点」(日本アイソトープ協会)

II化学 p.4,5)

A : 正

B : 誤 トリウム系列は4n系列と呼ばれ、その質量数が4で割り切れるので、ラドンについては、 $^{220}\text{Rn}$ が生成される。これはトロンと呼ばれる。ウラン系列は4n+2系列と呼ばれ、その質量数を4で割ると2余る。 $^{222}\text{Rn}$ はウラン系列で生成される。

C : 正

D : 正

問6 ネプツニウム系列は $^{237}_{93}\text{Np}$ から始まり $^{205}_{81}\text{Tl}$ で終わる。 $^{237}_{93}\text{Np}$ から $^{205}_{81}\text{Tl}$ までの壊変で $\alpha$ 壊変は8回起こるが、 $\beta$ -壊変は何回起こるか。

1 3      2 4      3 5      4 6      5 7

〔解答〕2

〔解説〕 $\alpha$ 壊変が8回起こると質量数は $8 \times 4 = 32$ 減り、原子番号は $2 \times 8 = 16$ 減る。

$^{237}_{93}\text{Np}$  から  $^{205}_{81}\text{Tl}$  までの壊変では、質量数の変化  $237 - 205 = 32$ 、原子番号の変化  $93 - 81 = 12$  なので、 $16 - 12 = 4$  回の $\beta$ 壊変が必要である。

問 7 次の記述のうち正しいものの組合せはどれか。

- A  $\beta^-$  壊変では原子番号が 1 増加する。  
B  $\beta^+$  壊変では放出される陽電子のエネルギーは線スペクトルを示す。  
C  $\beta^+$  壊変では原子核内の中性子が陽子に変わる。  
D EC 壊変ではオージェ電子が放出されることがある。

- 1 A と B                  2 A と C                  3 A と D                  4 B と C                  5 B と D

〔解答〕 3

〔解説〕

A : 正

B : 誤  $\beta^+$  壊変、 $\beta^-$  壊変いずれの壊変においても、飛び出した  $\beta$  粒子の持つエネルギー ( $E$ ) は、

$$E = \frac{1}{2} \times m \times v^2 \quad m: \text{質量、} v: \text{速度}$$

に示す運動エネルギーで表され、また飛び出す速度が壊変ごとに異なるため、そのエネルギー分布は連続スペクトルを示す。<https://www.jrias.or.jp/report/hakarou/betasen.htm> を一部壊変)

C : 誤 陽子が中性子に変わる

D : 正

問 8 以下の線源のうち  $\gamma$  線を放出しないものの組合せは、次のうちどれか。

- A  $^{14}\text{C}$   
B  $^{22}\text{Na}$   
C  $^{63}\text{Ni}$   
D  $^{137}\text{Cs}$

- 1 A と C                  2 A と D                  3 B と C                  4 B と D                  5 C と D

〔解答〕 1

〔解説〕

A :  $^{14}\text{C}$   $\beta^-$

B :  $^{22}\text{Na}$   $\beta^+$ 、EC、 $\gamma$

C :  $^{63}\text{Ni}$   $\beta^-$

D :  $^{137}\text{Cs}$   $\beta^-$ 、 $\gamma$

問 9 500 MBq の  $^{11}\text{CO}_2$  の質量[g]に最も近い値は次のうちどれか。ただし、 $^{11}\text{C}$  の半減期を 20 分、酸素の原子量を 16、アボガドロ定数を  $6 \times 10^{23} \text{mol}^{-1}$ 、 $\ln 2$  を 0.7 とする。

- 1  $6 \times 10^{-17}$                   2  $1 \times 10^{-14}$                   3  $6 \times 10^{-13}$                   4  $1 \times 10^{-12}$                   5  $6 \times 10^{-11}$

〔解答〕 5

〔解説〕

$W$ :  $^{11}\text{C}$  の質量、 $A$ : 放射能、 $T$ : 半減期、 $M$ : 原子量

$$W = A \times T \times M / (\ln 2 \times 6 \times 10^{23})$$

$$= (500 \times 10^6) \times (20 \times 60) \times 11 / (0.7 \times 6 \times 10^{23}) = 1.57 \times 10^{-11}$$

$$^{11}\text{CO}_2 \text{ の質量} = 1.57 \times 10^{-11} / 11 \times (11 + 32) = 6.13 \times 10^{-11}$$

問 10 以下の線源の利用の記述のうち、正しいものの組合せは、次のうちどれか。

- A  $^3\text{H}$  はレベル計に用いられている。
- B  $^{55}\text{Fe}$  は密度計に用いられている。
- C  $^{60}\text{Co}$  はラジオグラフィに用いられている。
- D  $^{192}\text{Ir}$  は非破壊検査に用いられている。
- E  $^{226}\text{Ra}$  は ECD ガスクロマトグラフに用いられている。

- 1 A と D                      2 A と E                      3 B と C                      4 B と E                      5 C と D

〔解答〕 5

〔解説〕

A: 誤 レベル計はタンクに線源と検出器を設置し、透過率変化から液面の位置が設定値に達しているかどうかを検出する。大型タンクでは  $^{137}\text{Cs}$  や  $^{60}\text{Co}$  からの  $\gamma$  線が用いられるが、小型で低原子番号の元素からなる物質においては  $^{241}\text{Am}$  が用いられる。(「10 版放射線取扱の基礎-第1種放射線取扱主任者試験の要点」(日本アイソトープ協会) II 化学 p.76,77)

B: 誤  $\gamma$  線のエネルギーが 1 から 2 MeV になると線減弱計数は物質によらず密度だけに比例することから測定対象の厚さが一定であれば透過率により資料の密度を決定できる。(「10 版放射線取扱の基礎-第1種放射線取扱主任者試験の要点」(日本アイソトープ協会) II 化学 p.76) 線源は  $^{60}\text{Co}$  や  $^{137}\text{Cs}$  の  $\gamma$  線源を使用する。

C: 正

D: 正

E: 誤 電子捕獲型検出器: ECD の原理は  $\beta$  線源からの電子線により移動相のキャリアガスをイオン化するが、電子親和性物質が存在すると、電子が捕獲されイオン電流が減少することを利用している。電子源として 370 MBq 程度の放射能をもつ  $^{63}\text{Ni}$   $\beta$  線源が用いられる。(「10 版放射線取扱の基礎-第1種放射線取扱主任者試験の要点」(日本アイソトープ協会) II 化学 p.77)

問11 化学線量計に関する次の文章の□の部分について、解答群の選択肢のうち最も適切な答えを1つだけ選べ。

セリウム(Ce)線量計は、水溶液中で放射線照射により  $\text{Ce}^{4+}$  が  $\text{Ce}^{3+}$  に □ A □ されるイオン数が放射線量に比例することを利用する化学線量計の1つである。放射線量の測定で重要なG値は、通常  $^{60}\text{Co}$  線源から放出される □ B □ の照射で測定され、溶液が □ C □ eV のエネルギーを吸収したときに変化する溶質のイオン数で示される。その値はセリウム線量計の場合、□ D □ である。生成する  $\text{Ce}^{3+}$  イオン濃度は、□ E □ 光(波長 320 nm)の吸光度を測定して求める。

セリウム線量計は、フリッケ線量計と比較すれば大線量の測定に適しており、最大 □ ア □ Gy の測定が可能である。また、フリッケ線量計は溶存する □ F □ の影響を受けるが、セリウム線量計はその影響は受けない。一方、セリウム線量計は、不純物の影響を受けやすいので、使用する水やガラス容器に有機物などが入らないように注意することが必要である。

アラニン線量計は、アミノ酸の一つであるアラニン( $\text{CH}_3\text{CH}(\text{COOH})\text{NH}_2$ )の粉末をパラフィンやフィルム中に分散させポリマー固化したもので、放射線照射による吸収線量に比例して生じた □ G □ の濃度(数)を □ H □ 装置で測定する線量計である。アラニン線量計は照射中や照射後の温度、湿度などの影響を受けにくく、線量が1 Gy から □ イ □ Gy の広い範囲で測定可能であり、高い精度と安定性を有する線量計である。

<Aの解答群>

- |      |      |      |        |      |
|------|------|------|--------|------|
| 1 酸化 | 2 還元 | 3 中和 | 4 電気分解 | 5 昇華 |
| 6 励起 |      |      |        |      |

<Bの解答群>

- |               |              |              |               |
|---------------|--------------|--------------|---------------|
| 1 X線          | 2 消滅放射線      | 3 $\alpha$ 線 | 4 $\beta^-$ 線 |
| 5 $\beta^+$ 線 | 6 $\gamma$ 線 | 7 $\delta$ 線 |               |

<C、Dの解答群>

- |        |        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 1.25 | 2 2.45 | 3 7.35 | 4 15.5 | 5 30.0 |
| 6 40   | 7 50   | 8 100  | 9 150  | 10 200 |

<E、Fの解答群>

- |      |      |         |       |
|------|------|---------|-------|
| 1 窒素 | 2 酸素 | 3 二酸化炭素 | 4 遠赤外 |
| 5 赤外 | 6 可視 | 7 紫外    |       |

<アの解答群>

- |                   |                   |                   |                   |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1 $1 \times 10^1$ | 2 $5 \times 10^1$ | 3 $1 \times 10^2$ | 4 $5 \times 10^2$ |
| 5 $1 \times 10^3$ | 6 $5 \times 10^3$ | 7 $1 \times 10^4$ | 8 $5 \times 10^4$ |

<Gの解答群>

- |         |           |       |
|---------|-----------|-------|
| 1 結合電子  | 2 フリーラジカル | 3 メタン |
| 4 アンモニア | 5 酢酸      |       |

<Hの解答群>

- 1 X線光電子分光(XPS)

2 荷電粒子誘起 X 線分析(PIXE)

3 核磁気共鳴(NMR)

4 蛍光 X 線(XRF)分析

5 電子スピン共鳴(ESR)

<イの解答群>

1  $10^2$

2  $10^5$

3  $10^8$

4  $10^{11}$

5  $10^{14}$

6  $10^{17}$

[解答] A-2 B-6 C-8 D-2 E-7 F-2 ア-8 G-2 H-5 イ-2

[解説]

A：セリウム線量計は  $\text{Ce}^{4+}$  が  $\text{Ce}^{3+}$  に還元されるイオン数が、放射線量に比例することを利用する線量計である。

B： $^{60}\text{Co}$  線源は強いガンマ線（1.17 MeV 及び 1.33 MeV のエネルギー）を放出する。

C、D：G 値は物質が 100 eV の放射線のエネルギーを吸収した時に変化を受ける原子や分子種の個数である。セリウム線量計における  $\text{Ce}^{4+}$  の還元反応での G 値は 2.4 である。（「10 版放射線取扱の基礎-第 1 種放射線取扱主任者試験の要点」（日本アイソトープ協会）II 化学 p.55）

E： $\text{Ce}^{3+}$  の吸収波長である 320 nm から線量を求める。この波長 320 nm は紫外線（10～380nm）領域に含まれる。

ア：セリウム線量計の測定範囲は 5 Gy～50 kGy である。

よって最大測定値は  $50 \text{ kGy} = 50 \times 10^3 = 5 \times 10^4 \text{ Gy}$

F：フリッケ線量計と異なりセリウム線量計の測定範囲は溶存酸素濃度には依存しない。（「10 版放射線取扱の基礎-第 1 種放射線取扱主任者試験の要点」（日本アイソトープ協会）II 化学 p.55）

G、H：アラニン線量計はアミノ酸の一種でアラニンの粉末結晶に放射線を照射するとラジカルを形成し、そのラジカルを電子スピン共鳴装置 (ESR) により定量分析して線量を求める。（「10 版放射線取扱の基礎-第 1 種放射線取扱主任者試験の要点」（日本アイソトープ協会）II 化学 p.55）

イ：アラニン線量計は線量測定範囲が  $1 \sim 10^5 \text{ Gy}$  と広く、高い精度と安定性をもつ。（「第 12 版放射線概論」（通商産業研究社）p.285）

次の問 1 から問 10 について、5 つの選択肢のうち適切な答えを 1 つだけ 選び、また、問 11 の文章の  の部分について、解答群の選択肢のうち最も適切な答えを 1 つだけ 選び、注意事項に従って解答用紙に記入せよ。

---

問 1 DNA に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A DNA の構成要素の一つにチロシンがある。
- B 細胞の核の中で DNA の複製が行われる。
- C DNA のヌクレオチドの配列によって、タンパク質のアミノ酸の配列が指定される。
- D DNA は放射線による酸化修飾を受ける。

1 ABC のみ      2 ABD のみ      3 ACD のみ      4 BCD のみ      5 ABCD すべて

〔解答〕 4

〔解説〕

A：誤 DNA の構成要素は、シトシン、グアニン、アデニン、チミンであり、チロシンはアミノ酸の一種である。

B：正

C：正

D：正 DNA の損傷は、塩基の酸化や二重結合の切断などにより起こる。

問 2 次のうち、5 Gy 急性  $\gamma$  線全身被ばくによって血球数の減少が早く観察される順番に並んでいるものはどれか。

- 1 リンパ球      →      血小板      →      赤血球
- 2 リンパ球      →      赤血球      →      血小板
- 3 血小板      →      リンパ球      →      赤血球
- 4 血小板      →      赤血球      →      リンパ球
- 5 赤血球      →      血小板      →      リンパ球

〔解答〕 1

〔解説〕リンパ球は、末梢血中で放射線感受性が高いことが知られている。照射を受けると、末梢リンパ球は、短時間でアポトーシスにより細胞死を起こす事が特徴である。血小板は、核を持たないため、放射線感受性は低い。被ばく後 3～5 日で減少し始め、2～3 週で最低値となり以後回復に向かう。赤血球にも核がなく、放射線感受性は低い。被ばく後は、5～6 日経って数の減少が認められ、2～3 週に最低値となる。(「10 版放射線取扱の基礎-第 1 種放射線取扱主任者試験の要点」(日本アイソトープ協会) III 生物 p.40-41)

問 3 次の放射線影響のうち、確率的影響に分類されるものの組合せはどれか。

- A 発がん

- B 下痢
- C 白内障(視力障害)
- D 遺伝性(的)影響

1 A と B            2 A と C            3 A と D            4 B と D            5 C と D

〔解答〕 3

〔解説〕

- A : 正 確率的影響はがんと遺伝性 (的) 影響である。
- B : 誤 下痢はがん以外の身体的影響であるので確定的影響である。
- C : 誤 白内障はがん以外の身体的影響であるので確定的影響である。
- D : 正 遺伝性 (的) 影響も確率的影響である。

問 4 広島・長崎の原爆被爆者の疫学調査において、有意な増加が認められているものとして正しいものの組合せは、次のうちどれか。

- A 胃がん
- B 乳がん
- C 白血病
- D 小頭症

1 ABC のみ            2 ABD のみ            3 ACD のみ            4 BCD のみ            5 ABCD すべて

〔解答〕 5

〔解説〕 原爆被爆者の疫学調査において、白血病、甲状腺がん、乳がん、肺がん、結腸がん、胃がんなどの増加が知られている。(公益財団法人放射線影響研究所 <https://www.rerf.or.jp/programs/roadmap> を一部改変)

- A : 正
- B : 正
- C : 正
- D : 正 広島・長崎の原爆被爆者の疫学調査においてヒトで観察された奇形は唯一小頭症のみである。(「第 12 版 放射線概論」(通商産業研究社) p.383)

問 5 放射線照射による細胞死に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 増殖死はコロニー形成法によって調べることができる。
- B 細胞死を細胞周期の観点から分類すると、分裂死と間期死に分けられる。
- C 細胞が分裂期を経ることなく間期で死に至ることを間期死という。
- D ネクロシスでは梯子状の規則的な DNA の断片化が見られる。
- E アポトーシスでは核の膨潤が見られる。

1 ABC のみ            2 ABD のみ            3 ACE のみ            4 BDE のみ            5 CDE のみ

〔解答〕 1

〔解説〕

A：正 分裂死はコロニー形成法によって評価する。(「第12版 放射線概論」(通商産業研究社) p.337)

B：正 細胞死は細胞増殖を指標とした分裂死(増殖死)と間期死に、細胞死の病理学的形態の観点からネクロシスとアポトーシスにそれぞれ分類される。(「第12版 放射線概論」(通商産業研究社) p.337)

C：正

D：誤 ネクロシスは受動的な死である。細胞質の膨張、細胞膜の破綻、細胞質中の細胞小器官の膨張、核凝縮がおこる。(「10版放射線取扱の基礎-第1種放射線取扱主任者試験の要点」(日本アイソトープ協会) II生物 p.23)

E：誤 アポトーシスは能動的な死である。核の断片化、核内クロマチンの凝集、細胞の分断化などの形態的特徴がある。

問6 正常ヒト線維芽細胞に対して、 $1\text{ Gy} \cdot \text{min}^{-1}$ の線量率で4 Gyの $\gamma$ 線照射を行った場合の生存率に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 2時間の間隔をあけて2 Gyずつ2回に分けて合計4 Gy照射した場合に比べて生存率が高い。  
B 2時間の間隔をあけて2 Gyずつ2回に分けて合計4 Gy照射した場合に比べて生存率が低い。  
C  $0.001\text{ Gy} \cdot \text{min}^{-1}$ の線量率で4 Gy照射した場合に比べて生存率が高い。  
D  $0.001\text{ Gy} \cdot \text{min}^{-1}$ の線量率で4 Gy照射した場合に比べて生存率が低い。

- 1 AとC      2 AとD      3 BとC      4 BとD      5 CとD

〔解答〕 4

〔解説〕 低LET放射線では同じ線量を与える場に線量率を低くして照射すると生物効果は一般に小さくなる。これを線量率効果という。低線量率での照射中では回復が起こるためである。(「10版放射線取扱の基礎-第1種放射線取扱主任者試験の要点」(日本アイソトープ協会) II生物 p.70)

A：誤 一定線量を1回で照射するのに比べて、分割照射をすれば生物効果が小さくなる。よってこの場合、4 Gy(1回)照射した方が生存率が低くなる。

B：正

C：誤 高線量率を短時間で照射(急照射)する方が、同一線量を低線量率で長時間照射(緩照射)するよりも生物効果は大きい。よってこの場合、生存率が低くなる。

D：正

問7 放射線の酸素効果に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 無酸素環境下では、大気環境下に比べて、細胞は放射線抵抗性を示す。  
B 重粒子線の酸素効果はX線よりも大きい。

C 酸素効果の大きさは酸素増感比(OER)で表される。

D 照射 30 分後に細胞を大気環境下から無酸素環境下に移した場合にも、酸素効果は観察される。

- 1 A と B            2 A と C            3 B と C            4 B と D            5 C と D

〔解答〕 2

〔解説〕

A：正 放射線の生体への作用が酸素の存在で増強される酸素効果があるため、逆に無酸素状態では放射線抵抗性を示す。

B：誤 高 LET である重粒子線では、低 LET に比べ酸素効果は大きくない。

C：正 酸素効果の程度は、酸素増感比(OER) で表される。

D：誤 照射により生成した H ラジカルや有機ラジカルが、酸素と反応することにより安定化した過酸化ラジカルやスーパーオキシドが生成される。これらの過酸化ラジカル作用によって酸素効果が生じると考えられている。30 分間の限られた酸素曝露によって生じる過酸化ラジカルの量は、細胞内に存在するグルタチオンなどにより減少し、その後の酸素供給が途絶えるため、酸素効果は大きく減弱するものと考えられる。

(改訂 2 版放射線生物学 (オーム社) p42)

問 8 胎内被ばくに関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

A 胎児に生じる奇形は遺伝性(的)影響である。

B 器官形成期での被ばくは他の時期より奇形を生じるリスクが高い。

C 胎児期での被ばくは他の時期よりも多くの精神遅滞が生じる。

D 精神遅滞発症にはしきい線量が存在する。

- 1 ACD のみ            2 AB のみ            3 AC のみ            4 BD のみ            5 BCD のみ

〔解答〕 5

〔解説〕

A：誤 胎児に起こる奇形は、胎内被ばくによるため、身体的影響であり、確定的影響に分類される。

B：正 器官形成期の胚では、組織、器官への分化が行われている時期のため、この時期の被ばくは器官形成異常(奇形)が発生することが多い。

C：正 胎児期の脳では神経芽細胞の移動の時期であり、妊娠 8～25 週の被ばくは精神発達の遅滞、いわゆる精神遅滞を起こしやすいとされている。

D：正 胎内被ばくの精神遅滞発生の影響は確定的影響であり、しきい値は 0.2 Gy とされている。

問 9 放射線のヒトへの影響に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

A ICRP2007 年勧告では、1 Sv あたりの遺伝性(的)影響のリスクは、発がんの死亡リスクと同程

度とされている。

B 生殖腺の細胞死で不妊となるのは、遺伝性(的)影響である。

C 広島・長崎の原爆被爆者二世を対象とする疫学調査では、遺伝性(的)影響は確認されていない。

D ICRP2007 年勧告では、自然に生じている突然変異の割合を2倍に増加させるのに必要な線量がヒトとマウスで同じと推定している。

1 AとC            2 AとD            3 BとC            4 BとD            5 CとD

〔解答〕 5

〔解説〕

A: 誤 ICRP2007 年勧告によると、1 Sv あたりの遺伝的影響のリスクは、 $0.2 \times 10^{-2}/\text{Sv}$  であり、発がん死亡リスクは  $5.5 \times 10^{-2}/\text{Sv}$  と遺伝的影響のリスクより高い値となっている。  
(ICRP Publication 103 2007 年勧告 pp140 表 A.4.4)

B: 誤 生殖腺の被ばくで不妊になるのは確定的影響であり身体的影響に分類され、しきい値がある。

C: 正 広島・長崎の原爆による被ばく調査では、約60年にわたり約7万人について健康影響の調査がなされ、これによると遺伝的影響の頻度上昇は報告されていない。

D: 正 ICRP は倍化線量としてマウスのデータから推定された1 Gy と、ヒト集団での自然突然変異率を考慮して、ヒトでの倍加線量は1 Gy という値を採用している。

問10 次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

A 高 LET 放射線は、低 LET 放射線より電離が密に生じる。

B 高 LET 放射線は、低 LET 放射線より放射線加重係数が小さい。

C 同じ程度の致死作用をもたらすのに必要な吸収線量は、高 LET 放射線より低 LET 放射線の方が小さい。

D 高 LET 放射線では、低 LET 放射線より線量率効果が小さい。

1 AとC            2 AとD            3 BとC            4 BとD            5 CとD

〔解答〕 2

〔解説〕

A: 正 線エネルギー付与 (LET) は、放射線の飛跡に沿った単位長さあたりに与えるエネルギーを示すものであり、高 LET 放射線の方が飛跡に沿って多くのエネルギーを与え、電離を密に生じさせる。

B: 誤 高 LET 放射線 (中性子線、 $\alpha$  線、重粒子線など) の方が低 LET 放射線 (X 線、 $\gamma$  線、 $\beta$  線など) より生物学的効果比 (RBE) が高いため、放射線加重係数が大きい値となっている。

C: 誤 高 LET 放射線は生物学的効果が高いため、細胞に対する殺傷能力が高く、同じ致死作用をもたらす吸収線量は、低 LET 放射線より小さい。

D: 正 高 LET 放射線は低 LET 放射線に比べ、線量率効果は無い、小さい。これは、高 LET 放射線による照射後の細胞の回復が少ないためである。

問 11 次の文章の□の部分について、解答群の選択肢のうち最も適切な答えを一つだけ選べ。

放射線は、五感で感知できなくても人体に重篤な障害を与えることがある。高線量率全身被ばくの場合、ヒトでは被ばく後□ア□日以内に半数が死亡する線量を半数致死線量と呼び、治療が行われない場合には、γ線で□イ□□A□程度とされる。この場合の死の主な原因は□B□の障害である。□A□は、物理量である□C□を表す単位である。重力加速度を  $9.8 \text{ m/s}^2$  とすると半数致死線量を被ばくした場合、エネルギー量としては、そのヒトを約□ウ□m 持ち上げる仕事量に相当する。

放射線のエネルギーは、人体に多くの原子、分子の電離や励起という形で伝わる。放射線が直接、標的となる分子（例えば DNA）の電離や励起を引き起こす過程を直接作用と呼ぶ。一方、標的以外の分子（例えば水）から□D□などが生成し、それらが標的分子を攻撃する過程を間接作用と呼ぶ。□D□を消去できる物質は、放射線の生物影響を軽減する防護効果をもつことがある。よく知られているのは、SH 基をもつアミノ酸□E□を分子内にもつ□F□である。また、□G□は、SH 基をもたないが OH 基を複数もつため□D□を効率よく消去することができる。

<ア～ウの解答群>

- |       |       |      |       |      |
|-------|-------|------|-------|------|
| 1 0.1 | 2 0.4 | 3 1  | 4 4   | 5 10 |
| 6 40  | 7 60  | 8 80 | 9 100 |      |

<A の解答群>

- |      |      |      |                  |                  |
|------|------|------|------------------|------------------|
| 1 Bq | 2 Sv | 3 Gy | 4 $\text{J/s}^2$ | 5 $\text{J/m}^2$ |
|------|------|------|------------------|------------------|

<B の解答群>

- |       |      |      |     |
|-------|------|------|-----|
| 1 消化管 | 2 骨髄 | 3 心臓 | 4 脳 |
|-------|------|------|-----|

<C の解答群>

- |        |        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 等価線量 | 2 線量当量 | 3 照射線量 | 4 吸収線量 | 5 実効線量 |
|--------|--------|--------|--------|--------|

<D の解答群>

- |        |       |        |      |
|--------|-------|--------|------|
| 1 ラジカル | 2 イオン | 3 プラズマ | 4 電子 |
|--------|-------|--------|------|

<E～G の解答群>

- |         |                 |          |
|---------|-----------------|----------|
| 1 グリシン  | 2 グルタミン         | 3 グルタミン酸 |
| 4 システイン | 5 システアミン        | 6 ヒスタミン  |
| 7 ヒスチジン | 8 グリセロール(グリセリン) |          |

〔解答〕アー 7 イー 4 ウー 2 Aー 3 Bー 2 Cー 4 Dー 1 Eー 4 Fー 正答なし※  
Gー 8

〔解説〕

ア、イ、A、B、C：被ばくした動物の半数が一定期間内（30 日）に死亡する線量を半数致死線量（LD<sub>50(30)</sub>）という。哺乳動物では、LD<sub>50(30)</sub>は動物種により異なるが 10 Gy を超えること

はない。一方、ヒトでは動物と比べ死亡までの期間が長く、 $LD_{50(60)}$ で表し4 Gy 程度である。この死亡原因は、骨髄死（造血障害死）と考えられている。尚、Gy（グレイ）は、吸収線量を表す単位であり、 $Gy = J/kg$  という物理量を表す。

ウ：体重  $M$  kg のヒトに4 Gy の吸収線量があった場合の4  $M$  (J)のエネルギーによって、この人が  $h$  (m) 上昇したとすると、この位置エネルギーは、 $Mgh$  (J) となる。

$$4M = Mgh \text{ より、} h = 4/g = 4/9.8 = 0.408 \text{ (m)}$$

D～G：放射線が生体内の水分子を電離あるいは励起し、その結果 OH ラジカルや H ラジカルなどのフリーラジカルが生じ、これが DNA などの生体高分子に作用して損傷を引き起こすことを間接作用という。低 LET 放射線の方が間接作用が大きい。

生体内で生じたフリーラジカルを補足し、化学的防護効果を有するものをラジカルスカベンジャーという。アミノ酸のシステインや、システアミン、グルタチオン (Glu-Cys-Gly) などの -SH 基を有する物の他、-OH 基を有するアルコール、グリセリンなどにもスカベンジャー効果がある。

F－正答なし※ について：システアミンはペプチドではなくアミンであるため、アミノ酸を含んだ物質ではない。グルタチオンなら正解である。